



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**NÁVRH TECHNOLOGIE PRO ŠROUBOVÉ SPOJENÍ PRO
EXTRÉMNÍ ZATÍŽENÍ**

TECHNOLOGY DESIGN FOR SCREW CONNECTION FOR EXTREME LOADS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Václavek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Milan Kalivoda

BRNO 2021

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Jan Václavek**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Milan Kalivoda**
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh technologie pro šroubové spojení pro extrémní zatížení

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Šroubová spojení jsou v některých případech extrémně zatěžovaná. Pro tyto specifikované podmínky zadané téma předkládá konkrétní řešení.

Cíle bakalářské práce:

- Přehled používaných šroubových spojení
- Druhy extrémního zatěžování
- Charakteristika řešeného spoje
- Sestavení dokumentů pro výrobní proces
- Zhodnocení z hlediska montáže a životnosti

Seznam doporučené literatury:

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky. 3. vyd. Úvaly: ALBRA, 2006. 914 s. ISBN 80-7361-033-7.

MÁDL, Jan et al. Jakost obráběných povrchů. 1. vyd. Ústí nad Labem: UJEP, 2003. 180 s. ISBN 80-7044-639-4.

PÍŠKA, Miroslav et al. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2009. 252 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

Příručka obrábění, kniha pro praktiky. 1. vyd. Praha: Sandvik CZ, s. r. o. a Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. ISBN 91-972299-4-6.

PTÁČEK, Luděk et al. Nauka o materiálu I. 2. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 516 s. ISBN 80-72-4283-1.

PTÁČEK, Luděk et al. Nauka o materiálu II. 2. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 516 s. ISBN 80-72-4283-1.

SAMEK, Radko, Zdeněk LIDMILA a Eva Šmehlíková. Speciální technologie tváření, 2. část. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2011. 163 s. ISBN 987-80-214-4406-5.

SHAW, Milton Clayton. Metal Cutting Principles. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press, 2005. P. 651. ISBN 0-19-514206-3.

ŠTULPA, Miloslav. CNC obráběcí stroje a jejich programování. 1. vyd. Praha: Technická literatura BEN, 2007. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.

ZEMČÍK, Oskar. Nástroje a přípravky pro obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 193 s. ISBN 80-214-2336-6.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Šroubové spoje jsou často používanou metodou spojení dvou nebo více součástí v provozu namáhaných různými druhy zatížení, v některých případech se může jednat o zatížení extrémní. Tématem bakalářské práce je představení možných druhů extrémního zatížení šroubového spoje a seznámení s konkrétním případem extrémně zatíženého šroubového spoje. Pro řešený případ je vytvořen návrh výrobního procesu a vyrobené součásti jsou zhodnoceny z hlediska montáže a životnosti.

Klíčová slova

šroubový spoj, extrémní zatížení, výroba závitu, hák, matice

ABSTRACT

Screw connections are a commonly used method of joining two or more components that are loaded with different types of loads during their operation. Screw connections are in some cases extremely stressed. The topic of the bachelor thesis is the introduction of potential types of extreme load on a screw connection and acquaintance with a specific case of an extremely stressed screw connection. A design of the production process is created for the discussed case and the manufactured components are evaluated in terms of assembly and service life.

Key words

screw connection, extreme load, thread production, hook, nut

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VÁCLAVEK, Jan. *Návrh technologie pro šroubové spojení pro extrémní zatížení* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-03-24]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/129717>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Milan Kalivoda.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Návrh technologie pro šroubové spojení pro extrémní zatížení** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Jan Václavek

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Milanu Kalivodovi za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH.....	7
ÚVOD	9
1 PŘEHLED POUŽÍVANÝCH ŠROUBOVÝCH SPOJENÍ	10
1.1 Šrouby.....	11
1.1.1 Dělení šroubů podle tvaru hlavy	11
1.1.2 Dělení šroubů podle tvaru dříku	11
1.1.3 Pevnostní třídy šroubů	12
1.2 Matice.....	14
1.3 Podložky.....	15
1.4 Pojištění šroubových spojů	15
1.4.1 Pojištění silovým stykem	15
1.4.2 Pojištění tvarovým stykem.....	16
1.5 Značení šroubů a matic podle ČSN.....	17
2 DRUHY EXTRÉMNÍHO ZATĚŽOVÁNÍ	19
2.1 Mechanické namáhání.....	19
2.1.1 Kategorie šroubových spojů	19
2.1.2 Namáhání šroubového spoje tahem	20
2.1.3 Namáhání šroubového spoje stříhem.....	22
2.1.4 Namáhání šroubového spoje otláčením	23
2.1.5 Namáhání šroubového spoje kombinací stříhu a tahu	24
2.1.6 Třecí spoje.....	25
2.1.7 Statické tahové zatěžování.....	26
2.1.8 Dynamické tahové zatěžování	26
2.2 Tepelné namáhání	27
2.3 Chemické namáhání	27
3 SPOJENÍ HÁKU MOSTOVÉHO JEŘÁBU	28
3.1 Charakteristika spoje.....	28
3.2 Proces výroby háku.....	29
3.2.1 Volba vhodného materiálu.....	29
3.2.2 Kování háku a matice	30
3.2.3 Tepelné zpracování	31

3.2.4	Výroba závitu.....	32
3.3	Návrh závitu háku a matice.....	37
3.3.1	Nosná hloubka závitu.....	37
3.3.2	Maximální tíha břemene	37
3.3.3	Dovolený tlak v závitu	37
3.3.4	Výpočet výšky matice z otláčení	38
3.3.5	Pevnostní kontrola na tah.....	38
3.4	Zhodnocení z hlediska montáže a životnosti	39
ZÁVĚR		41
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ		42
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK		46
SEZNAM PŘÍLOH.....		49

ÚVOD

Velké množství výrobků včetně strojních součástí je složeno z více částí. Základním prvkem, který slouží ke spojování různých částí, jsou spojovací součásti. Spoje mohou být rozděleny na rozebíratelné a nerozebíratelné. Šroubové spojení, patřící mezi rozebíratelné typy spojení, jsou často používanou technologií. Musí být provedeno tak, aby výsledný výrobek byl schopen vykonávat všechny požadované funkce. Zvlášť musí být spojení uzpůsobené pro případ, kde se očekává jeho extrémní zatížení. S extrémně zatíženými šroubovými spoji se můžeme setkat např. u spojů přírub ve větrných elektrárnách, u vysoce zatížených ocelových konstrukcí, u uchycení závěsného šroubu s okem k přenosu různých těžkých strojů, u spojení jeřábového háku apod.

Tato bakalářská práce je zaměřená na šroubové spoje, které jsou určeny pro extrémní zatížení. Kapitola 1 obsahuje přehled používaných šroubových spojení a typy jednotlivých spojovacích prvků. Kapitola 2 shrnuje různé druhy extrémního zatížení šroubových spojů a další možné extrémní podmínky, kterým může být spoj vystaven. Kapitola 3 se zabývá konkrétním případem spojení jeřábového háku, jenž je probrán z hlediska obecné charakteristiky, postupu výrobního procesu, montáže a životnosti.

Aby byl šroubový spoj odolný proti extrémnímu zatížení, musí být správně vybrán materiál, rozměr, způsob výroby neobrobené součásti a závitu, u kterého musí být následně zvolena povrchová úprava. Všechny tyto aspekty ovlivňují životnost, bezpečnost a kvalitu použití šroubových spojů.

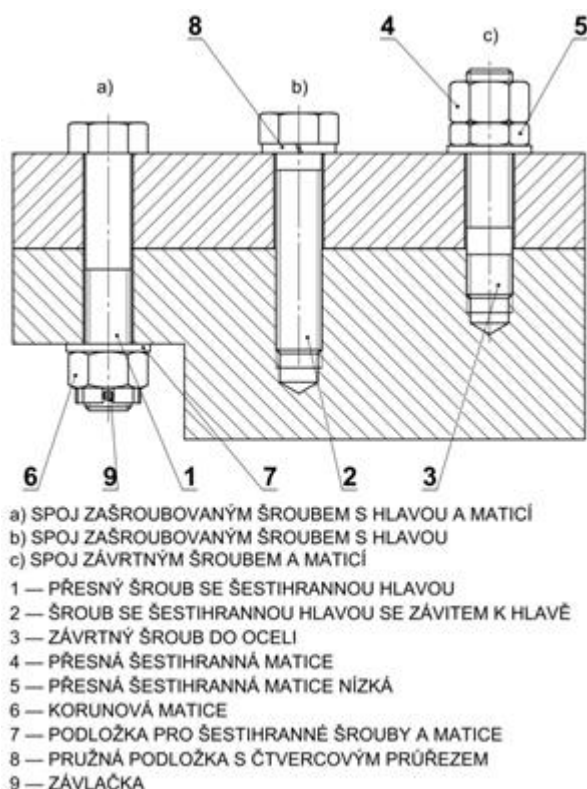
Novinek v oblasti spojovacích součástí je spousta. Vhodné spojovací prvky mohou konstruktéři vybírat z katalogů spojovacích materiálů. Strojní inženýr pracující v oboru konstruování strojů musí mít znalosti v oblasti spojovacích součástí a jejich správné volby pro konkrétní případy, což zahrnuje provedení návrhu či kontroly šroubového spoje pro stanovené provozní podmínky [35].

1 PŘEHLED POUŽÍVANÝCH ŠROUBOVÝCH SPOJENÍ

Každý stroj je zkomponován z více součástí, které musí být spojeny dohromady, a to za pomoci spojů. Spojení je realizováno různými způsoby tak, aby bylo vždy zajištěno plnění požadovaných funkcí a nesmí být opomenuty požadavky na pevnost, těsnost, pohyblivost, snadnou montáž a demontáž a spolehlivost proti samovolnému uvolnění [1].

Dělení spojů lze provést například podle hlediska rozebíratelnosti, jenž se užívá nejčastěji, na spoje rozebíratelné a nerozebíratelné. U nerozebíratelného spojení dochází při rozpojování součástí k jejich trvalé deformaci nebo porušení (nýt). Rozebíratelný spoj umožňuje snadnou montáž a následnou demontáž, přičemž nedochází k poškození u spojovaných částí. Typickými příklady rozebíratelného spojení jsou šrouby a pera [1].

Nejběžněji používaným rozebíratelným spojem je šroubové spojení. Šroubový spoj se skládá ze spojovaných částí s otvorem pro šroub, šroubu, matice a podložky, která nemusí být nutně použita. Podložka se uplatní například v případě, kdy díra, kterou šroub prochází, má velkou vůli nebo je potřeba tlak matice rozprostřít na větší plochu, aby nedocházelo k deformaci spojovaného měkkého materiálu. Ani matice nemusí být vždy použita, v některých případech je nahrazena závitem, jenž je vytvořen přímo v jedné ze spojovaných částí. Zpravidla se uplatňují normalizované šrouby, matice a podložky, které se vyrábí sériově. Díky tomu jsou poměrně finančně dostupné. Využívají se různé druhy šroubových spojů (obr. 1) [1, 2, 3].



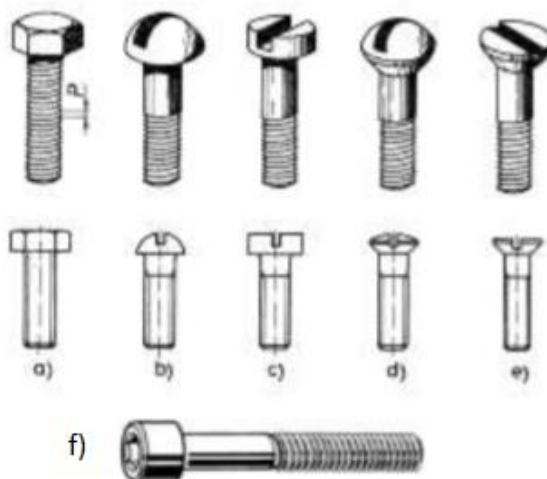
Obr. 1 Druhy šroubových spojů [4].

1.1 Šrouby

Šroub je strojní součást, která se skládá z dříku, jenž má k sobě obvykle připevněnou hlavu. Hlavní funkci šroubu vykonává vnější závit, který je umístěn na dříku. Dřík je rozdělen na úsek se závitem a úsek bez závitu. Závit má tvar šroubovice, v podstatě profil závitu je navinut na vnější, popřípadě vnitřní válcovou plochu při určitém stoupání. Je volen takový typ závitu, který pohodlně dosedá do součásti s předvrtanou dírou nebo do matice, kterou je utažený po průchodu součástmi s dírami. Otáčením hlavy, tedy i závitu, dochází k utahování nebo povolování šroubu. Tímto způsobem dochází k přenosu otáčivého pohybu na pohyb posuvný přímočarý [7,8]. Šrouby jsou produkovány ve výrobních třídách A (jmenovitý průměr závitu šroubu $d \leq 24$ mm), B ($d > 24$ mm) a C (původní hrubé šrouby) [17]. Přehled používaných normalizovaných šroubů (příloha 1), které jsou určeny pro vysoce namáhané šroubové spoje, byl vytvořen podle katalogu spojovacího materiálu společnosti Metalcom a. s. Jedná se o tuzemský velkoobchod, který se zabývá prodejem spojovacího materiálu pro průmyslovou výrobu, montáže a stavebnictví.

1.1.1 Dělení šroubů podle tvaru hlavy

Dělení šroubů lze provést různými způsoby, jedním z nich je dělení podle tvaru hlavy šroubu. Hlava šroubu se používá k montáži šroubu za pomoci klíče, šroubováku nebo v některých případech pomocí rukou. Rozměry hlavy musí být takové, aby splňovaly požadavky na pevnost a odolnost při namáhání ve stříhu [9]. Tvar hlavy je vyráběn podle norem a bývá označován číslem normy. Nejčastěji používané šrouby do kovu, členěné podle tvaru hlavy, jsou šrouby se šestihrannou hlavou a šrouby s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem. Běžně se ovšem používá celá řada šroubů do kovu se specifickým tvarem hlavy (obr. 2) [7].

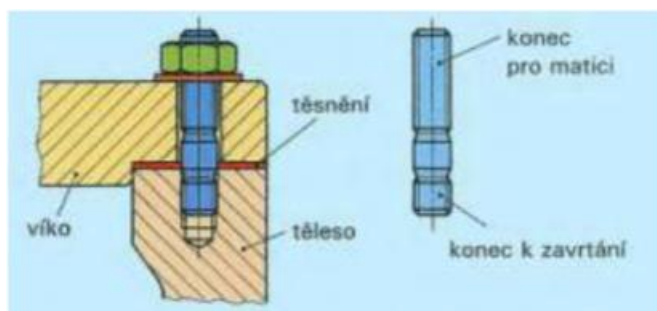


Obr. 2 Rozdělení šroubů do kovu podle tvaru hlavy: a) šroub se šestihrannou hlavou, b) šroub s půlkulatou hlavou, c) šroub s válcovou hlavou, d) šroub s čokkovitou hlavou, e) šroub se zápustnou hlavou, f) šroub s vnitřním šestihranem [10].

1.1.2 Dělení šroubů podle tvaru dříku

Šrouby mohou být dále rozdělovány podle tvaru dříku. Výběr tvaru dříku závisí na účelu, který má šroub plnit. Zde jsou uvedeny některé z používaných šroubů lišící se tvarem dříku:

- Závrtné šrouby (obr. 3) slouží jako náhrada za šrouby s hlavou, když dochází k častému rozebírání spoje. Tento typ šroubu má závit na obou koncích dříku. Část povrchu dříku, která je mezi závitovými částmi, se využívá k zašroubování klíčem do jedné ze spojovaných součástí. Při rozebírání spoje je uvolněna matice a závrtný šroub zůstává zašroubován v tělese. Závrtné šrouby se uplatňují v případech, kdy je požadováno šetření vnitřních závitů konstrukčních dílů. V tomto případě nedochází k opotřebování vnitřních závitů vlivem tření při dotahování. Toho se využívá například u spalovacích motorů k přichycení hlavy k bloku válců nebo k přichycení víka k tělesu [8].



Obr. 3 Závrtný šroub [10].

- Lícované šrouby (obr. 4) slouží u spojení k zachycení střížných sil nebo k zajištění vzájemné polohy spojovaných součástí. Dřík tohoto šroubu je broušen a díra pro šroub, která má velkou vůli, musí být vystružená. Tyto šrouby se nedoporučuje používat v případě, kdy daný šroubový spoj je namáhán axiálními silami. Při použití lícovaného šroubu se provádí kontrola na smyk [11].



Obr. 4 Lícovaný šroub s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem [11].

- Stavěcí šrouby zajišťují vzájemnou polohu spojovaných dílů v požadované poloze, například spojení hřídele a náboje. Konce stavěcích šroubů se mohou lišit, používají se s plochým koncem, kuželovým důlkem, hrotem nebo čípkem. Aplikují se k uchycení prvků, které jsou slabě zatížené [12].

1.1.3 Pevnostní třídy šroubů

Materiál, ze kterého jsou šroub a matice vyrobeny, hraje u kvality šroubového spoje hlavní roli. Ten je volen podle toho, jaké má být použití šroubu a matice. Běžně užívané šrouby jsou vyráběny z uhlíkových nebo nízkolegovaných ocelí. Mechanické a fyzikální vlastnosti šroubů, které jsou tvořeny z uhlíkových nebo legovaných ocelí, jsou upřesněny normou ČSN EN ISO 898-1. Na produkci šroubů, které nejsou vysoce namáhány, se používají oceli třídy 11 (např. 11 523, 11 500). Vysokopevnostní šrouby se zhotovují převážně z ocelí třídy 13 a 15 (např. 15 230, 13 240) [8].

Potřebných mechanických vlastností se docílí také zvoleným způsobem výroby. Vnější závity mohou být vyrobeny řezáním závitoreznými hlavami, řezáním na soustruhu, frézováním, broušením nebo tvářením, které je prováděno válcováním za studena. Zavity vyráběné válcováním za studena mají oproti řezaným závitům řadu předností. Mají vyšší pevnost v tahu, až dvojnásobně vyšší únavovou pevnost, vyšší jakost povrchu a povrch odolnější proti oteru. Na soustruhu se řezají zavity strojních součástí vysoké přesnosti a pohybových šroubů. Frézování závitů je možné provést různými způsoby, a to kotoučovými frézami, které slouží na výrobu lichoběžníkových závitů, závitovými nástrčnými nebo stopkovými frézami, které se používají na frézování krátkých závitů, okružovacím frézováním u dlouhých přesných závitů s velkým stoupáním, a vrtacími závitoreznými frézami, což je vysoce produktivní a časově úsporná metoda [25].

Aby nedocházelo ke ztrátě funkčnosti extrémně zatížených šroubů, používají se různé formy povrchových úprav závitů. Jde o ochranu proti korozi nebo proti opotřebení povrchu závitu, čímž dochází ke zvýšení životnosti šroubů. Nejčastější povrchovou úpravou je zinkování, které může být prováděno ve více podobách (např. galvanické zinkování, žárové čili ponorem v roztaveném zinku, difúzní zinkování). Může být také použito černění, fosfátování, niklování nebo chromování. [13].

Tab. 1 Pevnostní třídy šroubů [14].

Pevnostní třída	Pevnost v tahu Rm [MPa]	Materiál a tepelné zpracování	Typické příklady oceli (DIN)	Namáhání spoje	Materiál spojovaných dílů
3.6	300	uhlíková ocel	Q St 36-3	nízké	všechny konstrukční oceli
4.6	400		Q St 38-3		
4.8	500		Cq22, Cq35		
5.6					
5.8					
6.8	600	uhlíková ocel kalená a popouštěná	19Mn B4, 22 B2, Cq45, 38 Cr2	střední	konstrukční oceli od Rm = 700 MPa
8.8	800				
9.8	900				
10.9	1000	uhlíková ocel, nebo legovaná	35 B2, 34 Cr4	vysoké	oceli k zušlechtování
12.9	1200	ocel kalená a popouštěná	42CrMo4, 34CrNiMo6, 30CrNiMo8	velmi vysoké	

Mechanické vlastnosti ocelových šroubů jsou označovány prostřednictvím dvou čísel rozdělených tečkou. Mez pevnosti v tahu v MPa se určuje z čísla před tečkou vynásobené krát 100. Číslo za tečkou stanovuje mez kluzu, jako procentuální podíl meze pevnosti. Když je například šroub pevnostní třídy 9.8, mez pevnosti se rovná 900 MPa, procentuální podíl meze kluzu pak činí $900 \times 0,8 = 720$ MPa [15].

Extrémně namáhané šroubové spoje jsou vybaveny vysokopevnostními šrouby třídy 12.9, případně 10.9. Tepelné zpracování popouštěním se provádí s cílem získat požadovaný poměr tvrdosti a houževnatosti. Pro pevnostní třídy 10.9 a 12.9 musí být

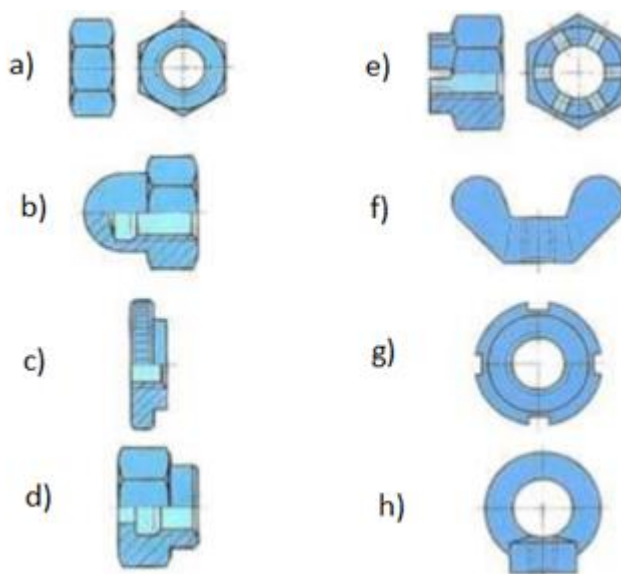
materiál dostatečně kalitelný, aby bylo dokázáno, že v jádře závitové části spoje se vyskytuje podíl martensitu zhruba 90 % před popouštěním v kaleném stavu [14].

1.2 Matice

Matice je strojní součást, která je opatřena vnitřním závitem, do kterého se šroubuje šroub. Pro spojení matice se šroubem musí platit, že oba spojovací prvky mají stejný rozměr a profil závitu [10]. Podle účelu použití jsou vyráběny matice různých tvarů. Nejčastěji se uplatňují matice šestiboké a čtyřboké. Používají se také matice jiných tvarů, jejich využití není ale tak četné [9].

Příklady tvarů matic:

- Šestihranná matice (obr. 5a),
- Uzavřená matice (obr. 5b),
- Rýhovaná matice (obr. 5c),
- Převlečná matice (obr. 5d),
- Korunová matice (obr. 5e),
- Křídlatá matice (obr. 5f),
- Kruhová matice (obr. 5g),
- Závěsná matice (obr. 5h).



Obr. 5 Základní typy matic podle tvaru [10].

Matice jsou vyráběny ve výrobních třídách A (jmenovitý průměr závitu matice $D \leq 16$ mm), B ($D > 16$ mm) a C (původní hrubé matice). Matice se také liší svou výškou. Používají se matice standartní, jejichž výška je přibližně 0,8násobek jmenovitého průměru závitu, matice s výškou o 10% vyšší a matice nízké [17]. Mechanické vlastnosti matic jsou stanoveny vybraným materiálem a výrobním postupem. Nejčastěji jsou vyráběny z legované oceli, v menší míře pak ze slitiny mědi a slitiny hliníku [18].

Pevnostní třída se u matic značí jedním číslem, které vyjadřuje setinnou hodnotu meze pevnosti v tahu v MPa. Pro šrouby a matice, které jsou šroubovány do spoje, platí, že matice musí být stejné nebo vyšší pevností třídy než šroub [16]. Souhrn často používaných

normalizovaných matic pro vysoce zatížené šroubové spoje je uveden v příloze (příloha 2) a byl zpracován z katalogu společnosti Metalcom a. s.

Tab. 2 Pevnostní třídy matic [16].

Pevnostní třídy matic	
Matice	Příslušný šroub
4	4.8
5	5.8
6	6.8
8	8.8
10	10.9
12	12.9

1.3 Podložky

Podložka je část rozebíratelného šroubového spoje, která se vkládá mezi spojovanou součást a matici nebo pod hlavu šroubu. Většina používaných podložek je normalizována a popsána ve strojírenských tabulkách. Přehled používaných normalizovaných podložek dle společnosti Metalcom a. s. je zobrazen v příloze (příloha 3).

Podložky se kladou pod matice nebo hlavy šroubů z těchto důvodů [17]:

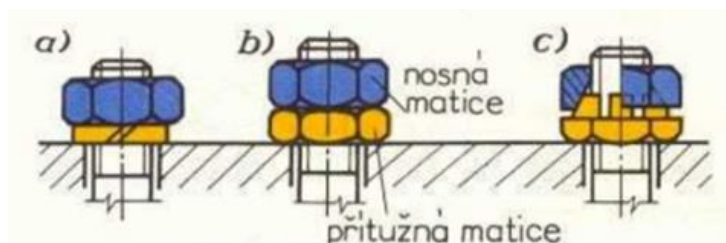
- zabraňují uvolnění matice nebo šroubu,
- rozložení tlaku matice, případně hlavy šroubu na větší plochu, aby se při použití měkčího materiálu nezatlačovala matice nebo hlava do součásti,
- díra, kterou šroub prochází skrz, má velkou vůli nebo nepravidelný tvar,
- zabraňují odírání spojovaných součástí (lakovaných) při častém uvolňování šroubového spoje,
- k vyrovnání sklonu dosedací plochy na součásti, je-li dosedací plocha šikmá.

1.4 Pojištění šroubových spojů

Všechny spojovací šrouby jsou samosvorné. To znamená, že při klidovém zatížení je zamezeno samovolnému uvolnění matice i šroubu kvůli působícímu tření [9]. Působením dynamického zatěžování na šroubový spoj nebo otřesy může docházet k odlehčení matice nebo šroubu a následně k samovolnému uvolnění spojení. To může nastat i vlivem silného utáhnutí šroubového spoje, kdy dochází k otlačení dosedacích ploch. Aby se tomu předešlo, je potřeba šroubový spoj pojistit. Používané způsoby pojištění proti uvolnění šroubových spojů mohou být třením nebo mechanická pojištění [5, 19].

1.4.1 Pojištění silovým stykem

Pojištění silovým stykem (třením) je založené na principu zvětšení tření. To je realizováno dvěma maticemi (obr. 6b), pružnou podložkou (obr. 6a), ozubenou podložkou, vějířovou podložkou nebo berma maticí (obr. 6c) [9].



Obr. 6 Silová pojištění šroubů a) pružnou podložkou, b) dvěma maticemi, c) berma maticí [5].

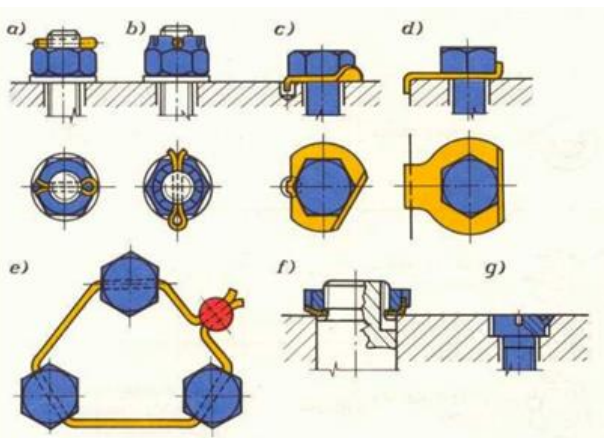
Při pojištění dvěma maticemi se nejdříve na konec šroubu našroubuje přítužná, nízká matice a na ni se dotáhne horní, nosná matice. Tím se dosáhne většího tření v závitech a na stykových plochách matice. Zajištění dvěma maticemi se nepoužívá pro vysoce namáhané šrouby kvůli příliš vysokému zatížení v průřezu mezi dvěma maticemi [20].

Nejzákladnějším případem pojištění proti uvolnění spoje je uplatnění pružné podložky, která způsobuje potřebné tření v závitech. Mohou být použity také podložky vějířovité nebo ozubené, které zvětšují tření mezi spojovacím prvkem a spojovanou součástí [20]. Tyto i jiné typy podložek způsobují poškození na stykových plochách hlavy šroubu, matice i součástí a tím omezují přípustné zatížení spoje. Hrany podložky se zarývají do dosedacích ploch a po čase vytváří nerovnosti na povrchu vlivem plastické deformace. To způsobuje zmenšení předpětí, které zapříčiňuje snížení pevnosti šroubu [9].

Berma matice je tvořena ze dvou částí – vnější a vnitřní. Vnitřní část má rozdělený, kuželový, pružný krček. Při použití se nejdřív na závitovou část šroubu upevní vnitřní část a na ni následně vnější část, která pevně drží krček vnitřní části a tím je tření v závitě větší, protože všechny závity dosedají na boky závitu šroubu. Berma matice několikanásobně zvyšuje únosnost dynamicky zatíženého šroubu [20].

1.4.2 Pojištění tvarovým stykem

Tvarová pojištění (obr.7) (mechanická pojištění), která zabraňují uvolnění šroubu nebo matice, vznikají za pomoci geometrických tvarů, které do sebe zapadají. Mechanické pojištění je nejčastěji zajištěno použitím závlačky, drátu provlečeného dírou v hlavě šroubů nebo pojistné podložky s nosem nebo jazýčkem [20].



Obr.7 Tvarová pojištění šroubů a) závlačkou, b) závlačkou s korunovou maticí, c) pojistnou podložkou s nosem, d) pojistnou podložkou s jazýčkem, e) pojištění drátem a plombou olověnou nebo z plastů, f) pojištění hřídelové matice KM pojistnou podložkou MB, g) pojištění zásekem okraje hlavy šroubu do spojovaného materiálu [5].

Závlačky nacházejí uplatnění při pojištění matice nebo šroubu proti pootočení. Nejvhodnější matice pro užití závlačky je korunová matice, která má dopředu navrtány díry kolmo k ose šroubu. Zajištění závlačkou, která je protažená dírou v dříku nad maticí (díra může procházet dříkem a zároveň maticí), se použije po utažení matice stanoveným momentem [19,20]. Používané normalizované závlačky jsou uvedeny v příloze (příloha 3).

Podložka s jazýčkem nebo nosem se skládá z kruhové části podložky a jazýčku, případně nosu. Při použití podložky s jazýčkem se kulová část přihne podle jedné rovné hrany matice nebo šroubu k jejich boční ploše a jazýček se ohne podle hrany spojované součásti. U podložky s nosem je potřeba v blízkosti matice vytvořit otvor pro nos. Nos se ohne a zastrčí do otvoru v součásti a kulová část se ohne podle jedné části matice [20].

1.5 Značení šroubů a matic podle ČSN

Označení šroubů dle ČSN EN (ISO) [21]:

Příklad: **Šroub se šestihrannou hlavou ISO 4014 – M10 x 60 – 8.8 – A3L**

- šroub se šestihrannou hlavou – položka,
- ISO 4014 – norma,
- M10 x 60 – typ a průměr závitu a délka šroubu,
- 8.8 – pevnostní třída (tab.1),
- A3L – úprava povrchu (tab. 3).

Tab. 3a Úprava povrchu – první značka – Kov povlaku dle ISO [22].

Značka	Prvek	Kód
Zn	Zinek	A
Cd	Kadmium	B
Cu	Měď	C
Cu, Zn	Mosaz	D
Ni	Nikl	E
Ni, Cr	Nikl – Chrom	F
Cu, Ni	Měď – Nikl	G
Cu, Ni, Cr	Měď – Nikl – Chrom	H
Sn	Cín	J
Cu, Sn	Měď – Cín	K
Ag	Stříbro	L
Cu, Ag	Měď – Stříbro	N

Tab. 3b Úprava povrchu – druhá značka – Tloušťka povlaku v μm dle ISO [22].

1 kov povlaku	2 kovy povlaku	Kód
0	-	0
3	-	1
5	2+3	2
8	3+5	3
12	4+8	4
15	5+10	5
20	8+12	6
25	10+15	7
32	12+20	8
40	16+24	9

Tab. 3c Úprava povrchu – třetí značka – Stupeň lesku a dodatečné zpracování dle ISO [22].

Stupeň lesku	Pasivace chromátováním Typická barva	Kód
matný	bezbarvý	A
	namodralá až duhová	B
	žlutá až žlutozelená, irizující	C
	olivově zelená až olivově hnědá	D
pololesklý	bezbarvý	E
	namodralá až duhová	F
	žlutá až žlutozelená, irizující	G
	olivově zelená až olivově hnědá	H
lesklý	bezbarvý	J
	namodralá až duhová	K
	žlutá až žlutozelená, irizující	L
	olivově zelená až olivově hnědá	M
vysoce lesklý	bezbarvý	N
libovolný	jako B, C nebo D	P
matný	hnědočerná až černá	R
pololesklý	hnědočerná až černá	S
lesklý	hnědočerná až černá	T

Označení matic dle ČSN EN (ISO) [21]:

Příklad: Šestihranná matice ISO 4032 – M10 – 8 – A3L

- Šestihranná matice – položka,
- ISO 4032 – norma,
- M10 – typ a průměr závitu,
- 8 – pevnostní třída matice (tab. 2),
- A3L – úprava povrchu (tab. 3).

2 DRUHY EXTRÉMNÍHO ZATĚŽOVÁNÍ

Šroubové spoje jsou kromě silových zatížení způsobených vnějšími silami nebo vlastní tíhou spojovaných součástí ovlivněny také klimatickými podmínkami (teplota, déšť, vlhkost atd.). Jednotlivé zatěžovací stavy se mohou navzájem kombinovat a s tím je potřeba počítat při návrhu celé konstrukce i dílčích spojů. Všechny prvky konstrukce se proto musí navrhnout tak, aby odolaly nepříznivým extrémním zátěžím a případná porucha nesmí být nepřijatelně velká. Spoj musí mít, i přes extrémně působící zatížení, schopnost plnit požadované funkce za obvyklého chodu po dobu stanovené životnosti. Zatížená sestava je spolehlivá, když únosnost každé její části je větší, než je velikost největší zátěže, která ji ničivě ovlivňuje.

Ve stavebním a strojním inženýrství se v současné době většina konstrukcí posuzuje vůči mezním stavům s využitím statického rozboru zatížení sestavy. Mezní stav únosnosti stanovuje, jakou maximální zátěž jsou konstrukce a její jednotlivé prvky schopny unést. Největší dovolené navrhnuté silové zatížení nesmí být větší než nejmenší z návrhových únosností jednotlivých částí dané sestavy. Když dojde k překročení mezního stavu únosnosti, dochází k poruchám, které mají za následek zřícení konstrukce. Únosnost šroubového spoje je závislá na únosnosti spojovaných i spojovacích součástí a je pravidlem, že jejich únosnosti jsou stejné. Mezní stav použitelnosti je další z mezních stavů, který se u šroubových spojů zkoumá. Po jeho překročení šroubový spoj již neplní požadované funkce při provozním zatížení [35].

2.1 Mechanické namáhání

Při mechanickém namáhání materiálu se setkáváme s pojmy deformační a lomové chování. Mechanicky není namáhán materiál, nýbrž těleso z něho vyrobené. Základní veličiny sloužící k popisu deformačního a lomového chování jsou napětí a deformace. V průřezu zatížené součásti mohou být dva druhy napětí, a to normálové a smykové. Normálové napětí (značení σ) působí kolmo na plochu průřezu, smykové napětí (značení τ) působí v rovině plochy průřezu. Obdobné rozdělení jako u napětí se provádí i u deformací – tahová a smyková deformace. Je-li těleso zatěžováno tak, že po jeho odlehčení se toto těleso vrátí do původního tvaru a objemu, jedná se o deformaci elastickou. Velikost elastické deformace má u každého materiálu jistou mez. Po jejím překročení dochází k trvalým změnám tvaru tělesa, popřípadě ke vzniku trhliny. V takovém případě se hovoří o deformaci plastické, která je nežádoucí [24].

Strojní součásti musí být schopny odolávat typům namáhání, kterým jsou během životnosti vystaveny. V první řadě se jedná o tah, tlak, ohyb, krut a vzpěr. U šroubových spojení by měla být spojovací část v ideálním případě namáhána tahem, když je zatížena v ose šroubu, nebo stříhem, když je zatížena kolmo k ose šroubu. Spoj je navrhován tak, aby na něj zatížení mělo účinek jen v jednom směru. Realita je ovšem taková, že spoj je vystaven kombinovanému zatížení, tedy jak napětí tahovému, tak napětí smykovému. Spoj musí být realizován tak, aby plnil požadovanou funkci i přes zatížení, které na něj působí. Zkouškami mechanických vlastností se zjišťuje, zda součást zmíněná namáhání, případně kombinované namáhání, vydrží [23].

2.1.1 Kategorie šroubových spojů

Šroubové spoje namáhané smykem se rozdělují na tyto kategorie:

Kategorie A: Šroubové spoje jsou namáhány na stříh a otláčení. Používají se šrouby pevnostních tříd 4.6 až 10.9, které jsou nepředepjaté a nemají upravený povrch styčných

ploch. Největší návrhové smykové zatížení $F_{v,Ed}$ nesmí být větší než návrhová únosnost ve střihu $F_{v,Rd}$ a současně nesmí být větší než návrhová únosnost v otláčení $F_{b,Rd}$.

Kategorie B: Třecí spoje bez prokluzu při mezním stavu použitelnosti. Používají se šrouby pevnostních tříd 8.8 a 10.9, které jsou předepjaté. Nesmí sice nastat prokluz spoje při mezním stavu použitelnosti, ale může dojít k prokluzu při mezním stavu únosnosti. Návrhová smyková síla při mezním stavu použitelnosti nesmí dosáhnout hodnoty návrhové únosnosti ve střihu $F_{v,Rd}$. Největší návrhové smykové zatížení $F_{v,Ed}$ musí být menší nebo rovno návrhové únosnosti ve střihu a zároveň návrhové únosnosti v otláčení $F_{b,Rd}$.

Kategorie C: Třecí spoje bez prokluzu při mezním stavu únosnosti. Používají se šrouby pevnostních tříd 8.8 a 10.9, které jsou předepjaté a povrchy styčných ploch jsou speciálně upraveny. Nesmí nastat prokluz ani v mezním stavu únosnosti. Největší návrhové smykové zatížení $F_{v,Ed}$ nesmí být větší než návrhová únosnost v prokluzu $F_{s,Rd}$ a také návrhová únosnost v otláčení.

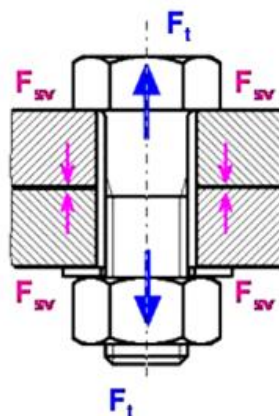
Šroubové spoje namáhané tahem se rozlišují na kategorie:

Kategorie D: Nepředepjaté šroubové spoje. Do této kategorie se uvažují šrouby pevnostních tříd 4.6 až 10.9, které nejsou předepjaté a nemají upravený povrch styčných ploch. Nejsou určeny pro spoje, které jsou namáhány dynamicky. Největší návrhové tahové zatížení $F_{t,Ed}$ musí být menší než návrhová únosnost šroubu v tahu $F_{t,Rd}$ a návrhová únosnost v protlačení $B_{p,Rd}$.

Kategorie E: Předepjaté šroubové spoje. Mají se používat předepjaté šrouby pevnostních tříd 8.8 a 10.9, které mají speciálně upravené styčné plochy. Největší návrhové tahové zatížení $F_{t,Ed}$ nesmí přesáhnout návrhovou únosnost šroubu v tahu $F_{t,Rd}$ a návrhovou únosnost v protlačení $B_{p,Rd}$. V případě zatížení kombinací tahu a smyku jsou ještě k tomu posuzovány na prokluz. [28,29,30].

2.1.2 Namáhání šroubového spoje tahem

Při tahovém namáhání (obr. 8) je šroubový spoj zatížen ve směru osy šroubu. Tahové síla F_t působí přímo na šroub a prochází jeho středem. Šroubový spoj musí zůstat spojený i přes zatížení, kterému je vystaven, je třeba ho dostatečně utáhnout, aby nedošlo k jeho deformaci vlivem působící zátěžné síly. Jestliže na spoj působí tahové napětí, pak čím je tahové namáhání větší, tím se zmenšuje síla, která drží spojované součásti u sebe (svěrná síla F_{sv}). Spoj odolá takovému typu namáhání, když hodnota svěrné síly zůstává pozitivní, v opačném případě dochází k jeho porušení. To znamená, že šroubový spoj jen stěží vydrží extrémní namáhání [23].



Obr. 8 Působení svěrné síly F_{sv} a tahové síly F_t při tahovém zatížení [23].

U takového druhu namáhání se posuzuje únosnost šroubu v tahu. Po dosažení hodnoty únosnosti šroubu dochází k přetržení šroubu. Návrhová únosnost jednoho šroubu je pak dána vztahem (2.1) [26, 27]:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot R_m \cdot A_s}{\gamma_{M2}} \quad (2.1)$$

Kde:

$F_{t,Rd}$ – únosnost šroubu v tahu [N],

k_2 – součinitel, který má hodnotu 0,63 pro zapuštěné šrouby, v ostatních případech nabývá hodnoty 0,9 [-],

R_m – mez pevnosti materiálu šroubu [MPa],

A_s – plocha šroubu [mm²],

γ_{M2} – součinitel materiálu [-].

Může také nastat případ, kdy při tahovém namáhání šroubového spoje dojde k protlačení hlavy šroubu nebo matice o spojovaný materiál (obr. 9). V takovém případě se musí počítat s únosností šroubu v protlačení. Návrhová únosnost při protlačení hlavy šroubu nebo matice je stanovena vztahem (2.2) [26, 27]:

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot R_{mP}}{\gamma_{M2}} \quad (2.2)$$

Kde:

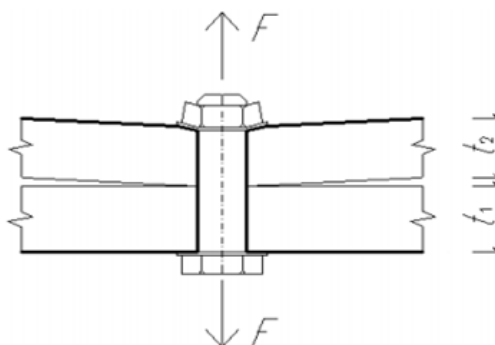
$B_{p,Rd}$ – únosnost v protlačení [N],

d_m – střední průměr kružnice vepsané do šestihranu hlavy šroubu nebo matice [mm],

t_p – menší z tloušťek desky pod hlavou šroubu nebo matice [mm],

R_{mP} – mez pevnosti spojovaného prvku [MPa],

γ_{M2} – součinitel materiálu [-].



Obr. 9 Princip protlačení [27].

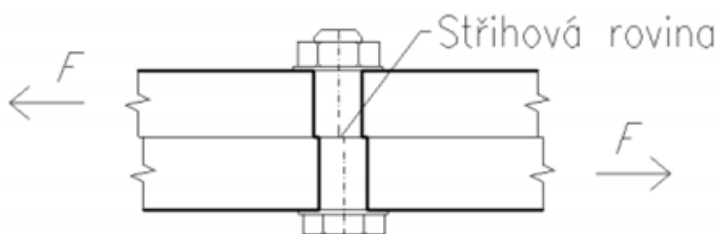
Z hlediska bezpečnosti spoje vůči meznímu stavu pružnosti musí být splněno, že normálové tahové napětí σ vyvolané působící tahovou silou je menší než dovolené napětí

v tahu σ_{dov} . Maximální tahové napětí od síly F je vyjádřeno poměrem tahové síly F ku ploše průřezu šroubu S , platí tedy vztah (2.3) [35]:

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{4F}{\pi d_3^2} \leq \sigma_{dov} \quad (2.3)$$

2.1.3 Namáhání šroubového spoje stříhem

Silové účinky, které působí kolmo na osu šroubu, vyvolávají smykové namáhání, jehož důsledkem je namáhání šroubového spoje na stříh (obr. 10). Zatížení je přenášeno na spojované součásti a mezi nimi dochází ke tření. Spoj odolá takovému namáhání za podmínky, že tření vzniklé účinkem svěrné síly je větší než velikost působící smykové síly. Při namáhání stříhem, poté co smyková síla překoná tření ve spoji, dochází ke skluzu části spoje, který způsobí ustřížení šroubu ve stříhové rovině. Stříhových rovin může mít spoj více, v tom případě se jedná o vícestřížný spoj [23, 28].



Obr.10 Namáhání šroubového spoje na stříh [27].

U šroubového spoje, který je namáhán na stříh, se kontroluje únosnost ve stříhu. Po překročení hodnoty únosnosti ve stříhu dochází k porušení šroubového spoje vlivem střížné síly. Návrhová únosnost šroubu ve stříhu se získá ze vztahu (2.4) [27, 28]:

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{\alpha_v \cdot R_m \cdot A}{\gamma_{M2}} \quad (2.4)$$

Kde:

$F_{v,Rd}$ – únosnost šroubu ve stříhu [N],

n – počet stříhových rovin [-],

α_v – součitel, který je roven 0,6 (pro pevnostní třídy šroubu 4.6, 5.6, 8.8) a 0,5 (pro třídy 4.8, 5.8, 6.8, 10.9) [-],

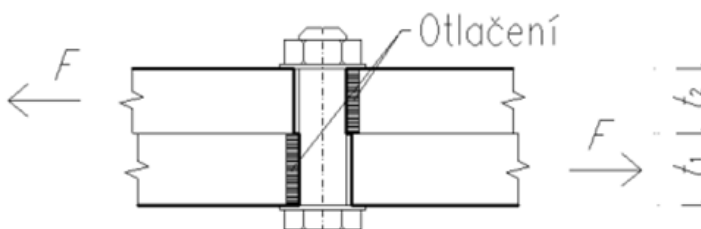
A – plocha dříku šroubu [mm²].

Pro bezpečnost spoje vůči meznímu stavu pružnosti musí platit, že napětí ve stříhu τ způsobené působící střížnou silou je menší než dovolené napětí ve stříhu τ_{dov} . Maximální stříhové napětí od síly F je vyjádřeno poměrem zatěžující střížné síly F ku střížnému průřezu šroubu S , platí tedy vztah (2.5) [35]:

$$\tau = \frac{F}{S} = \frac{4F}{\pi d_3^2} \leq \tau_{dov} \quad (2.5)$$

2.1.4 Namáhání šroubového spoje otláčením

Otláčení (obr. 11) může nastat, když je šroubový spoj namáhán smykem a pevnost materiálu spojovaných součástí je menší než pevnost materiálu spojovacích součástí. K otláčení spojované součásti potom dochází za dřikem šroubu. V opačném případě, kdy pevnost spojovaných součástí je větší než pevnost šroubu, může nastat situace, kdy je otláčen šroub [27, 28].



Obr. 11 Namáhání šroubového spoje na otláčení [27].

Únosnost v otláčení je mimo jiné závislá na součinitelích α_b a k_1 . Součinitel α_b je vždy pro výpočet návrhové únosnosti v otláčení (2.6) určen jako nejmenší hodnota z {1,0; (2.7); (2.8) pro šrouby, které jsou umístěny na okraji spojované součásti; (2.9) pro vnitřní šrouby}. Součinitel k_1 je potom stanoven jako menší z hodnot {2,5; (2.10) pro šrouby z okraje spojované části; (2.11) pro vnitřní šrouby}. Návrhová únosnost v otláčení se potom vypočte vztahem [27]:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b R_{mP} \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} \quad (2.6)$$

Kde:

$F_{b,Rd}$ – únosnost šroubu v otláčení [N],

R_{mP} – mez pevnosti základního materiálu (pokud je mez pevnosti šroubu menší než mez pevnosti základního materiálu, uvažuje se mez pevnosti šroubu R_{mB}) [MPa],

d – průměr dříku šroubu [mm],

t – nejmenší tloušťka spojovaných součástí [mm],

γ_{M2} – součinitel materiálu [-].

$$\alpha_b = \frac{R_m}{R_{mP}} \quad (2.7)$$

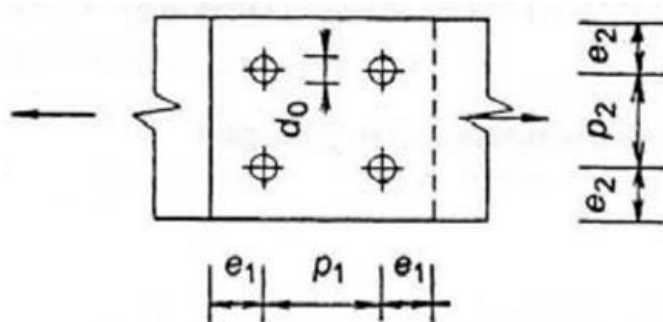
$$\alpha_b = \frac{e_1}{3d_0} \quad (2.8)$$

$$\alpha_b = \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4} \quad (2.9)$$

$$k_1 = 2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \quad (2.10)$$

$$k_1 = 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \quad (2.11)$$

Veličiny e_1 , e_2 vyjadřují vzdálenost šroubů ve spojovaných součástech od okraje a p_1 , p_2 jsou rozteče mezi jednotlivými šrouby. Hodnota d_0 udává velikost průměru díry pro šroub (obr. 12). Doporučené rozteče mezi šrouby, vzdálenosti děr od okrajů a minimální doporučené vzdálenosti děr od okrajů pro často používané rozměry šroubů jsou zmíněny v tabulce (tab. 4) [28].



Obr. 12 Rozteče, vzdálenosti od okrajů a průměry děr pro šrouby [28].

Tab. 4 Doporučené rozteče děr a vzdálenosti od okrajů pro různé průměry šroubů [27].

Použitý šroub	Doporučené rozteče mezi šrouby	Doporučené vzdálenosti děr od okrajů	Min. doporučené vzdálenosti děr od okrajů
d [mm]	p_1, p_2 [mm]	e_1, e_2 [mm]	e_1, e_2 [mm]
M12	40	30	25
M16	55	40	30
M20	70	50	40
M24	80	60	50
M27	90	70	55
M30	100	75	60

2.1.5 Namáhání šroubového spoje kombinací stříhu a tahu

Když je šroubový spoj zatížen v tahu a současně ve stříhu, předpokládá se navýšení únosnosti v tahu o 40 %. Součet složek smykového a tahového zatížení, které jsou dány poměrem největší síly ku návrhové únosnosti, nesmí být větší než 1,0 (2.12). V případě, kdy je namáhán šroub s řezaným závitem, jsou únosnosti v tahu a ve stříhu násobeny součinitelem 0,85 [27, 31].

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4F_{t,Rd}} \leq 1 \quad (2.12)$$

Kde:

$F_{v,Ed}$ – návrhová smyková síla [N],

$F_{v,Rd}$ – únosnost šroubu ve smyku [N],

$F_{t,Ed}$ – návrhová tahová síla [N],

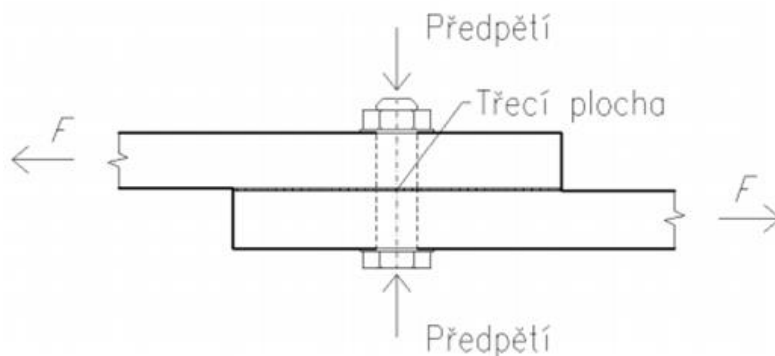
$F_{t,Rd}$ – únosnost šroubu v tahu [N].

Aby byla u kombinovaného namáhání splněna bezpečnost vůči meznímu stavu pružnosti, musí stejně jako u tahového a střihového namáhání platit, že maximální napětí je menší než dovolené napětí, respektive mez kluzu. Jestliže zatížení probíhá současně v různých osách, je z nich potřeba vytvořit jednu hodnotu jednoosového napětí, tzv. redukované napětí (2.13), které je tvořeno složkami tahového a střihového napětí. Redukované napětí podle podmínky měrné energie napjatosti změny tvaru je rovno výrazu [35]:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \quad (2.13)$$

2.1.6 Třecí spoje

U třecích spojů (obr. 13) vzniká tření na styčných plochách spojovaných součástí vlivem jejich dostatečně velkého sevření k sobě. Aby byl součinitel tření mezi spojenými částmi nejpříznivější, musí být jejich povrchy patřičně upraveny. Uplatňují se vysokopevnostní šrouby tříd 8.8 a 10.9. a využívají se v situacích, kdy je potřeba odolnost šroubového spoje vůči únavovému zatížení. Třecí spoje namáhané smykem jsou posuzovány na prokluz, konkrétně v případě spoje kategorie B na odolnost proti prokluzu v mezním stavu použitelnosti, v případě spoje kategorie C na odolnost proti prokluzu v mezním stavu únosnosti. Předepjaté spoje kategorie E se posuzují na tah, když jsou zatížené tahem, a na prokluz při kombinovaném zatížení tahem a smykem [27, 28].



Obr. 13 Třecí spoj [27].

U třecích spojů, které jsou zatíženy smykovou silou, může dojít k prokluzu. Pro třecí spoj je podmínkou, aby všechny šrouby přenášely smykovou sílu rovnoměrně. Únosnost v prokluzu, mimo dalších veličin, závisí na součiniteli tření μ , který se liší podle povrchu styčných ploch spojovaných součástí. Součinitel tření například pro povrch bez povrchové úpravy nabývá hodnoty $\mu = 0,2$ a pro tryskaný povrch se zinkovým povlakem je roven $\mu = 0,5$. Návrhová únosnost třecího spoje namáhaného smykem je vyjádřena vzorcem (2.14) [28]:

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu}{\gamma_{M3}} \cdot F_{p,C} \quad (2.14)$$

Kde:

k_s – součinitel zohledňující tvar a velikost díry pro šroub ($k_s = 1$ pro díry se standardní vůli) [-],

n – počet třecích ploch [-],

μ – součinitel tření [-],

γ_{M3} – součinitel materiálu [-],

$F_{p,C}$ – předpínací síla [N].

2.1.7 Statické tahové zatěžování

Statické tahové zatěžování uvažueme u předepjatých šroubových spojů zatížených tahem. V případě kontroly mezního stavu pružnosti (2.15) vůči vzniku plastických deformací se napětí ve šroubu porovnává s dolní mezí kluzu R_{el} nebo se smluvní mezí kluzu $R_{p0,2}$. Šroubový spoj je dále zkoumán, zda kvůli působící zátěži nedojde k zániku sevření (2.16), tedy k oddělení spojovaných součástí od sebe. U síly předpětí F_i se nejčastěji uvádí, že by měla být z rozsahu 50 až 90 % meze kluzu. Při utahování je šroubový spoj kromě namáhání v tahu silou předpětí zatěžován kroutícím momentem, který způsobuje smykové napětí [35].

$$k = \frac{R_{p0,2} \cdot A_s - F_i}{C \cdot F_p} \quad (2.15)$$

Kde:

A_s – výpočtový průřez šroubu [mm²],

C – tuhostní konstanta spoje [-],

F_p – síla v provozním stavu [N].

$$k_0 = \frac{F_i}{F_p \cdot (1 - C)} \quad (2.16)$$

2.1.8 Dynamické tahové zatěžování

Při dynamickém zatěžování je většinou šroubový spoj namáhán provozní silou, jejíž velikost se cyklicky mění v rozmezí od nulové hodnoty až po její maximální hodnotu. Provozní síla se v čase mění míjivým cyklem. Síla ve šroubu má v takovém případě pulsující cyklus, kdy její minimální hodnota odpovídá síle předpětí F_i a maximální hodnota z cyklu je rovna síle $F_s = F_i + CF$. Amplituda nominálního napětí ve šroubu (2.17) se získá vydělením amplitudy síly ve šroubu, která je $F_a = (F_s - F_i) / 2$, výpočtovým průřezem šroubu A_s [35]:

$$\sigma_a = \frac{F_s - F_i}{2A_s} = \frac{(CF + F_i) - F_i}{2A_s} = \frac{CF}{2A_s} \quad (2.17)$$

Střední nominální napětí ve šroubu (2.18) se vypočte jako amplituda nominálního napětí, které je zvětšené o napětí vyvolané silou předpětí vyjádřené vztahem $\sigma_i = F_i / A_s$ [35]:

$$\sigma_m = \frac{CF}{2A_s} + \frac{F_i}{A_s} \quad (2.18)$$

Bezpečnost vůči meznímu stavu únavy se stanoví pomocí některého z kritérií únavového poškození. Tím může být Gerberovo, Goodmanovo, Soderbergovo nebo ASME kritérium. V tomto případě bylo vybráno Goodmanovo kritérium, ze kterého je potřeba určit mezní hodnotu amplitudy nominálního napětí σ_A . Již vyjádřený vztah pro σ_A z Goodmanova kritéria (2.19) vypadá následovně [35]:

$$\sigma_A = \frac{\sigma_C^x (R_m - \sigma_i)}{R_m + \sigma_C^x} \quad (2.19)$$

Kde σ_C^x je korigovaná mez únavy šroubu při střídavém souměrném cyklu.

Součinitel bezpečnosti vzhledem k únavovému poškození (2.20) je dán vztahem:

$$k_u = \frac{\sigma_A}{\sigma_a} = \frac{2\sigma_C^x (R_m A_s - F_i)}{CF(R_m + \sigma_C^x)} \quad (2.20)$$

2.2 Tepelné namáhání

Materiál šroubových spojů je ve většině případů náchylný na teplotní rozdíly okolí. Extrémní teploty mohou způsobit nežádoucí objemové změny, v některých případech může docházet ke změnám mechanických vlastností a funkční způsobilosti spojovacích součástí. V rozmezí teplot od 150 °C až do maximální teploty 300 °C jsou funkční vlastnosti šroubových spojů kontrolovány důkladnými zkouškami. Čím vyšší je tepelné namáhání, tím více se snižuje pevnost v tahu a mez kluzu. Zvýšení provozní teploty může zapříčinit relaxaci napětí, které vyvolává ztrátu svěrné síly a s rostoucími teplotami se zvyšuje [24, 33].

2.3 Chemické namáhání

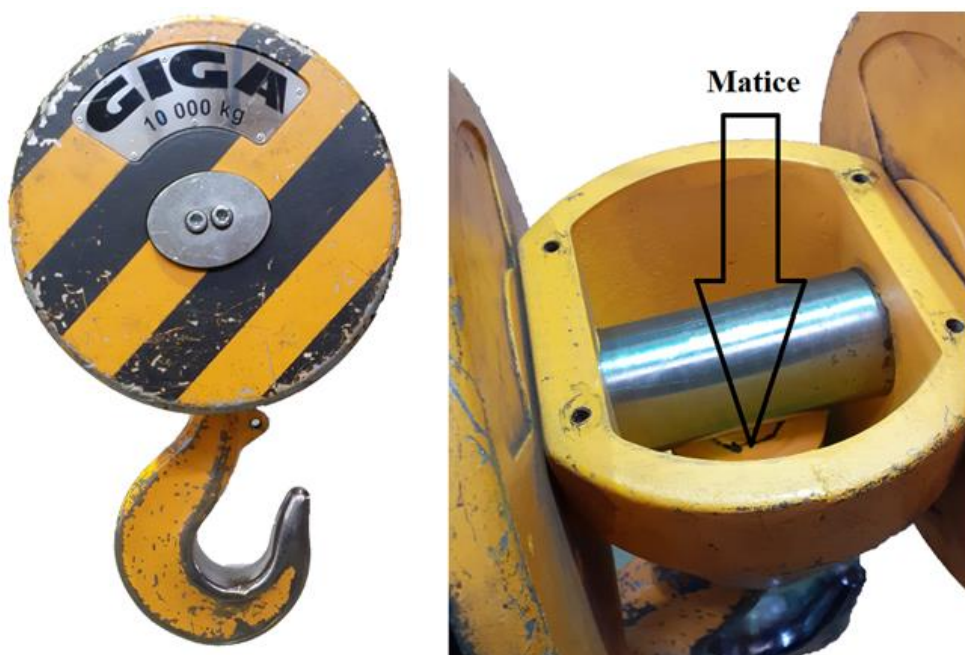
Vliv okolního prostředí, kterému je šroubový spoj vystaven, může způsobit korozi spojovacích součástí. Ve vysoce agresivním prostředí při špatně zvoleném materiálu může dojít k negativnímu ovlivnění životnosti a bezpečnosti šroubového spoje. Koroze znehodnocuje vlastnosti materiálu. To může vést až k iniciaci a postupnému růstu trhlin. Takový mechanismus se nazývá korozní praskání, které může být dvojího typu, korozní praskání pod napětím a korozní úrava. Ke koroznímu praskání pod napětím může dojít v korozním prostředí, kdy hodnota součinitele intenzity napětí K je menší než lomová houževnatost K_C . Korozní úrava je kombinací koroze pod napětím a cyklického zatěžování. Rychlost růstu únavových trhlin je vlivem koroze vyšší u velkého množství kovů [19, 24].

3 SPOJENÍ HÁKU MOSTOVÉHO JEŘÁBU

3.1 Charakteristika spoje

Mostový jeřáb slouží k přemísťování těžkých předmětů svislým nebo vodorovným směrem ve výrobních halách, skladech apod. Základními konstrukčními prvky, ze kterých se mostový jeřáb skládá, jsou nosníky pro pojezd mostu, jeřábový most, mechanismus pojezdu jeřábu včetně pojezdových kol, a „kočka“ jeřábu se zdvihadlem, lany a kladnicí, k níž je upevněn hák. Jeřábový most je zpravidla tvořen jedním nebo dvěma hlavními nosníky, v tomto konkrétním případě je použit jeden hlavní nosník, který je zatížen vlastní tíhou a současně tíhou kočky a tíhou převáženého nákladu.

Jeřábový hák, který slouží k zavěšování břemen, je spojen s maticí (obr. 14), aby bylo zajištěno spojení s příčnickem. Spoj je utažen v nezatíženém stavu, v provozu je zatížen tahem. Musí být schopen odolat tahovému napětí vyvolanému tíhou přenášeného břemene. Nosnosti kladnice mostových jeřábů jsou různé a pokrývají celou škálu od nízkých nosností, které mohou mít nosnost okolo jedné tuny, až po nosnosti vysoké, kdy si takové jeřáby poradí se zatížením v řádech několika set tun. Tento konkrétní mostový jeřáb od firmy GIGA s.r.o. má nosnost kladnice deset tun. U spoje musí být provedena kontrola na bezpečnost v tahu a kontrola tlaku mezi závitů matice a šroubu.



Obr. 14 Jeřábová kladnice s jednoduchým hákem spojeným s maticí.

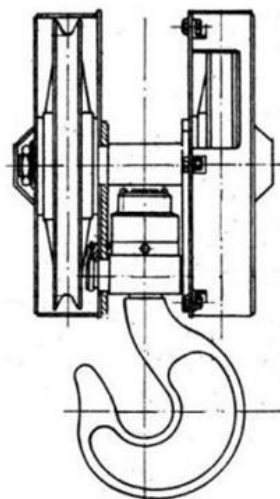
U takového typu kladnice je hák umístěn na jiném čepu než lanové kladky (obr. 15). Jeřábový hák je uložen v příčnicku, jehož válcové konce jsou usazené v bočnicích kladnice pod úrovní osy kladek. Pro usnadnění montáže je otvor v příčnicku vytvořen s dostatečnou vůlí pro dřík háku a pro umožnění otáčení háku kolem své osy je do obrobeného lůžka na příčnicku vloženo axiální valivé ložisko, které je v tomto řešeném případě kuličkové.

Hák je vyroben z materiálu 11 523 (S355J0). Jde o nelegovanou jemnozrnnou ocel vhodnou ke svařování. Základní symbol S ze značení třídy říká, že se jedná o ocel pro ocelové konstrukce pro všeobecné použití. Číslo 355 udává hodnotu meze kluzu materiálu

R_e [MPa], která platí pro tloušťky materiálu $t \leq 40$ mm. V takovém případě je mez pevnosti materiálu v tahu rovna $R_m = 510$ MPa. Pro tloušťky materiálu v rozmezí $40 < t \leq 100$ mm jsou hodnoty $R_e = 335$ MPa a $R_m = 490$ MPa [40].

Dřík háku je opatřen závitem M 48x2. Pro spoje, které mají nosnost do 12,5 tuny, se uplatňuje metrický závit, nad 12,5 tuny se používá lichoběžníkový závit. Na konci dříku háku je vyfrézována drážka pro vložení pojistky, která má zabránit pootočení háku v matici.

Matice je vyrobena ze stejného materiálu a vybavena shodným závitem jako hák. V horní části je zhotovena drážka, do které se při montáži vkládá pojistka proti povolení spoje. Do spodní části matice je vyfrézována plocha pro vložení axiálního ložiska, které umožňuje rotaci háku kolem své osy. Vytvořené osazení zároveň zabraňuje přístupu nečistot k ložisku. Z vnější strany jsou po obvodu do matice navrtány slepé díry, díky kterým je možné ložisko v matici dotáhnout, a otvor pro přívod maziva k ložisku bez nutnosti rozpojení spoje.



Obr 15. Typ provedení kladnice s dvěma lanovými kladkami a jednoduchým hákem umístěným na vlastním čepu [38].

3.2 Proces výroby háku

3.2.1 Volba vhodného materiálu

Materiál hotového výkovku háku musí mít dostatečnou tažnost při určité teplotě používání háku, aby k trvalé deformaci došlo dřív než ke ztrátě únosnosti. Předpoklady pro hák jsou takové, že poměr meze pevnosti (R_m) s mezí kluzu (R_e) musí být $R_m/R_e \geq 1,2$ a procentuální prodloužení ve stavu přetržení musí být $A \geq 10$ % na měřené počáteční délce $L_0 = 5,65 \cdot \sqrt{S_0}$ (kde S_0 je počáteční plocha průřezu).

Vybraná ocel musí po provedení vhodného tepelného zpracování vyhovovat požadavkům na jakostní stupeň při provozní teplotě pro daný tvar a tloušťku háku. Ocel také musí být plně uklidněná, stabilizována proti křehnutí stárnutím. Podle EN ISO 643 musí být austenitické zrna použité oceli velikosti 8 nebo jemnější. Obsah hliníku musí být minimálně 0,025 %, síry nesmí obsahovat více než 0,02 %, fosforu více než 0,02 % a jejich součet nesmí být větší než 0,035 %.

Výběr vhodných tříd materiálu a jakostí pro kované háky podle evropských norem jsou uvedeny v tabulce (tab. 5). Mohou být uplatněny i materiály jiných tříd a jakostí, ale musí být splněny výše uvedené požadavky pro hák a mechanické vlastnosti musí odpovídat relativním evropským normám [41].

Tab. 5 Materiály pro kované háky [41].

Norma materiálu	Vybrané jakosti materiálu	
EN 10025-3	S355N	S420N
EN 10222-4	P355NH P355QH	P420NH P420QH
EN 10250-2	S355J2	
EN 10083-3	25CrMo4+QT	34CrNiMo6+QT
EN 10250-3	34CrMo4+QT 36CrNiMo4+QT	30CrNiMo8+QT

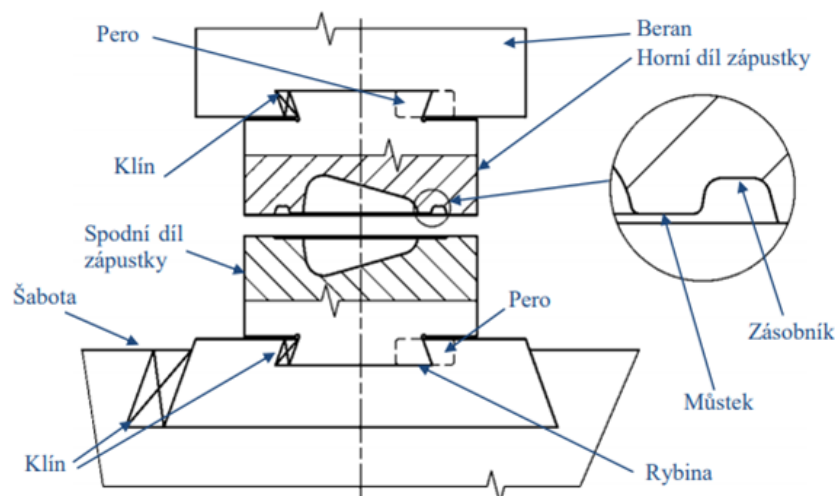
3.2.2 Kování háku a matice

Kované součásti musí být vykované za tepla z jednoho kusu, a to volným nebo zápustkovým kovááním. Kování za tepla má příznivé účinky na mechanické vlastnosti výkovku, když při kováání bylo vynaloženo úsilí ve směru tvarovaného vlákna. V případě, že bylo uplatněno v kolmém směru, mechanické vlastnosti jsou horší. Během kováání je součást podrobena tak velkému tlaku, že materiál je zhutněn a odstraňují se dutiny a pórovitost [32].

Volným kovááním se vyrábí háky velkých rozměrů, které se nevyrábí sériově. Použitím univerzálních kovadel a speciálního polohování výkovku se dosahuje požadovaného tvaru výkovku. Kovadla, která jsou nejpoužívanějším nástrojem, jsou prostých geometrických tvarů (kovadlo rovinné, válcové apod.). Úchyly rozměrů vykovaného háku jsou velké a povrch je nerovný. Volné kováání se používá pro kusovou výrobu a v případech, kde nestačí stroj pro zápustkové kováání. V tomto řešeném případě zhotovení háku je vhodnější uplatnit zápustkové kováání [42, 44].

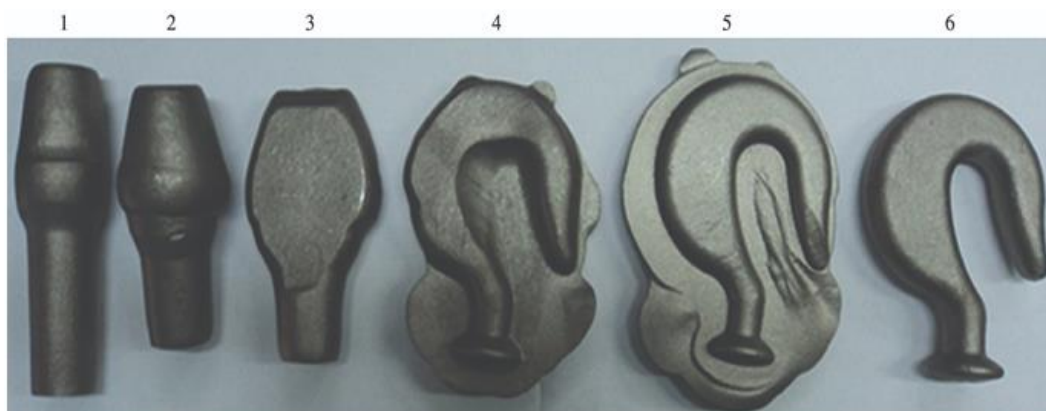
Zápustkovým kovááním se vyrábí součásti z oceli nebo jiných tvárných slitin. Hlavní výhodou je vysoká produktivita, snadná obsluha a možnost vytvořit součásti složitých tvarů, které by volným kovááním byly nedosažitelné. Zápustkové kováání se provádí s materiálem, jenž je ohřátý na kovací teplotu. Součást je kována v zápustce, která bývá zpravidla dvojdílná a obsahuje dutinu ve tvaru výkovku. Rozměry dutiny zápustky jsou zvětšeny o hodnotu smrštění vychladlého výkovku [42].

Stroje používané k zápustkovému kováání jsou buchary (kování úderem) a lisы (kování klidným tlakem). Dutina zápustky je vyplněna materiálem buď vtlačováním nebo pýchováním. Při kováání na bucharu (obr.16) je dutina postupně vyplněna materiálem za několik úderů beranu. Při kováání na lisech je výkovek vyroben za jeden zdvih, případně několik zdvihů. Důležité je řádné upevnění zápustky na kovací stroj, zejména na buchar, kde opakované úderý při kováání mohou jednoduše povolit upevnění zápustky. Uchycení je realizováno pomocí pera, klínu a rybiny. Beranem je vyvozena kovací síla potřebná k výrobě výkovku a pomocí můstku se zásobníkem se tvoří výronek [42, 44].



Obr. 16 Schéma dvoudílné jednodutinové zápustky pro buchar [44].

Za každý pracovní zdvih dochází k různým tvarovým změnám (obr. 17) a vzniká výronek, který pojímá přebytečný materiál. Posledním krokem výroby výkovku je odstrižení výronku. Dále je výkovek zbaven okují, k dosažení potřebné jakosti povrchu se může použít broušení, a tepelně se zpracovává, případně se za studena kalibruje [41, 42].



Obr. 17 Průběh zápustkového kování háku [43].

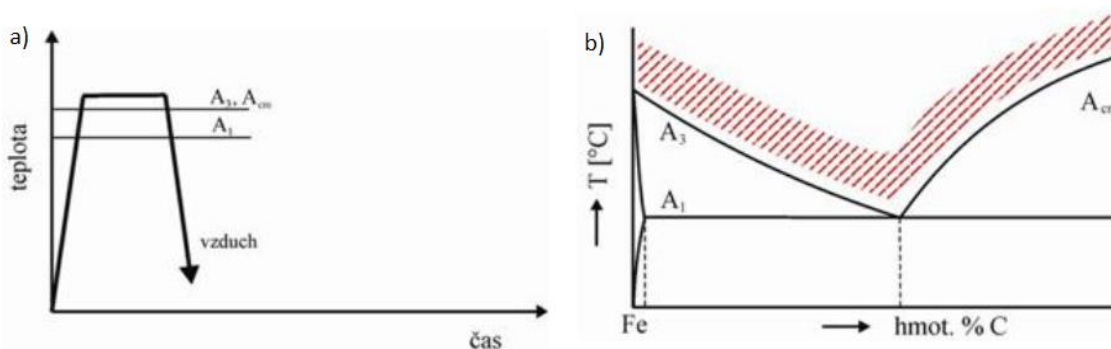
Pro tolerance rozměrů kovaných háků platí, že všechny musí být v rozmezí 0 až 7 procent jmenovitého rozměru. Sedlo háku musí být vykováno do kruhového tvaru a střed kružnice vepsané v sedle háku se musí nalézat na ose opracovaného dříku. Odchylka osy dříku od středu sedla musí být menší než $\pm 0,02 a_1$ (a_1 – průměr kružnice vepsané v sedle háku). Průměr dříku háku na nezávitové části (d_1) musí být v poměru s průměrem kružnice (a_1): $d_1 \geq 0,55 a_1$. Hodnoty průřezů háku musí být takové, že v kritických místech nesmí dojít k překročení napětí [41].

3.2.3 Tepelné zpracování

Následně po vykování a leštění součástí jsou hák s maticí tepelně zpracovány. Jsou vystaveny změnám teploty a ochlazení v médiu, kterým může být vzduch, voda, olej apod. Kontrolované zahřívání a ochlazování se vykonává za účelem zkvalitnění fyzikálních a mechanických vlastností, kterými jsou především houževnatost, pevnost a pružnost.

Nejčastějšími způsoby úprav pro materiál háku a matice bývají kalení a popouštění nebo žihání [32].

Po vykování je mikrostruktura oceli často nehomogenní a tvořená velkými zrny, což má negativní vliv na mechanické vlastnosti oceli, proto je hák tepelně zpracován normalizačním žiháním (obr. 18). Jeho výsledkem je homogenní jemnozrná struktura, která má vyšší pevnost a lepší obrobiteľnost. Mimo jiné slouží k odstranění Widmannstättenovy struktury a k zrovnoměnění sekundární struktury. Při normalizačním žihání je materiál háku zahřát na teplotu 800–920 °C, která přibližně odpovídá teplotě kalení. Po ohřevu se udržuje stabilní teplota po dobu 1 hod, kdy vznikají nová austenitická zrna, která jsou menší než původní zrna feritu. Po výdrži na dané teplotě je hák volně ochlazován na vzduchu [45, 46].



Obr. 18 Normalizační žihání: a) schéma tepelného zpracování, b) pásmo žhacích teplot [46].

Kromě normalizačního žihání je možné uvažovat tepelné zpracování součástí kalením a popouštěním. Materiál se popouští za nízké teploty, která se pohybuje v rozmezí 150 °C až 700 °C, a jeho úkolem je zbavit materiál pnutí a křehkosti a zároveň zlepšit potřebné mechanické vlastnosti. Křehkost materiálu je způsobena kalením, které se provádí zahřátím materiálu na rekrystalizační teplotu a potom se rychle ochladí. Mohou být použity různé typy kalení [45]:

- martenzitické kalení – materiál dosahuje vysoké tvrdosti, optimální kombinace vysoké pevnosti a houževnatosti,
- bainitické kalení – zvyšuje pevnost, houževnatost a snižuje deformaci,
- termální kalení – snižuje tvorbu trhlin, deformace a zbytkového pnutí,
- izotermické kalení – jen pro určité vysoce pevné slitinové oceli, snižuje zbytkové vnitřní pnutí,
- dvojí kalení – materiál podroben dvěma operacím kalení nebo nejprve žihání a poté tvrzení, dosažena jemnější zrnitost, vyšší tvrdost jádra i povrchu.

3.2.4 Výroba závitů

Závity se uplatňují u rozebíratelných spojení různých součástí. Principem je vytvoření drážky tvaru šroubovice na válcovém dřívku tělesa nebo v díře matice. Závity jsou vyráběny sériově obráběním nebo tvářením, v případě kusové výroby jsou vyráběny ručně. Volba vhodného procesu je klíčová pro kvalitu, výrobní čas a cenu zhotoveného výrobku.

Nejvhodnější je závity háku a matice zhotovit soustružením. Jde o technologii třískového obrábění, při které hlavní řezný pohyb vykonává rotace obrobku, nástroj koná

vedlejší přímočarý pohyb. Soustružením se dosahují přesné rozměry a kvalita plochy těžko obrobitelných materiálů. Nástroje jsou nejčastěji opatřeny vyměnitelnými břitovými destičkami (dále pouze VBD), které mají stejnou geometrii jako vybrání řezaného závitu. Různé typy geometrií VBD používaných pro výrobu závitů jsou uvedeny v příloze (příloha 4).

Rozeznáváme tři hlavní druhy VBD (obr. 19) [50, 51]:

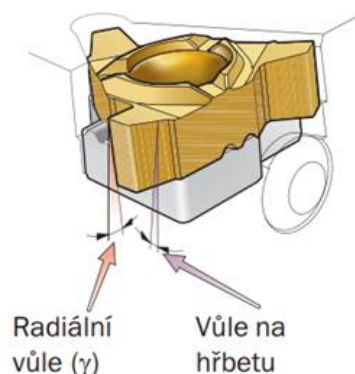
- břitové destičky s plným profilem,
- břitové destičky s V-profilem,
- hřebínkové břitové destičky.



Obr. 19 Typy břitových destiček zleva: plný profil, V-profil, hřebínková břitová destička [50].

Nejčastěji používanými VBD jsou destičky s plným profilem. U závitů je dosaženo správné hloubky a tvaru profilu, což má vliv na lepší odolnost závitu. Není možné je použít na rozdílný tvar závitů. Soustružení s destičkou s V-profilem musí předcházet obrobení průměru součásti, na kterém bude vytvořen závit, na správný rozměr. Lze ji použít pro určitý rozsah stoupání závitu pro shodný úhel stoupání a poloměr zaoblení. Z důvodu přípustného užití pro stanovený rozsah stoupání má destička menší poloměr špičky a tím i kratší životnost. Hřebínkové destičky jsou jako destičky s plným profilem, ale mají dva nebo více hrotů. Tím se dosahuje zdvojnásobení produktivity pro dvojhroté destičky, ztrojnásobení pro tříhroté atd., snižuje se počet průchodů, čímž se prodlužuje životnost nástroje. Na druhou stranu vyžaduje stabilní speciální podmínky kvůli vyšším řezným silám [50].

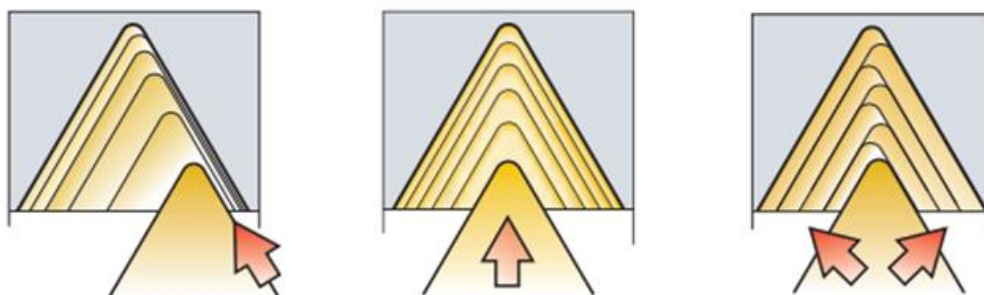
Mezi VBD a plochou závitu je důležitá úhlová vůle. Ta je podstatná pro přesnost soustružení a dlouhou životnost nástroje. V tomto případě se vyskytují dva typy vůle, radiální vůle a vůle na hřbetu (obr. 20). Vůle na hřbetu je zásadní z pohledu dosažení rovnoměrného opotřebení nástroje a kvalitních závitů. Pro nastavení vůle na hřbetu slouží vymezovací podložky. Destička je skloněná pod smluveným úhlem, ve kterém je vůle mezi hřbetem destičky a dílčími boky závitů co nejsymetričtější. Úhel sklonu destičky by měl být shodný s úhlem stoupání závitu. Vůle na hřbetu je závislá na profilu závitu, pro metrický vnitřní závit, který má radiální vůli o velikosti 15° , má hodnotu $7,6^\circ$ a pro metrický vnější závit s radiální vůlí 10° dosahuje hodnoty 5° . Radiální vůle, která se získá nakloněním destičky v nástrojovém držáku, nabývá hodnot 10° nebo 15° . Aby profil závitu byl vysoustružen do požadovaného tvaru, je potřeba použít VBD na řezání vnitřních závitů spolu s nástrojovým držákem pro vnitřní soustružení a analogicky to stejné pro vnější závit. [19, 50, 51].



Obr. 20 Úhlové vůle břitové destičky [50].

Aby bylo možné obrobek patřičně osoustružit, musí být dobře vystředěn. Výkovky háku a matice proto mají navrtány středící důlky vytvořené pomocí středícího vrtáku. Musí mít potřebnou velikost, tvar a umístění na obrobku. Před navrtáním důlků jsou osoustruženy čelní plochy dřívku háku a matice. Středící důlky se využijí k upnutí obrobku mezi hroty soustruhu.

Závit na obrobku není vysoustružen na jeden přísuv nástroje, ale většinou se to pohybuje kolem pěti nebo šesti záběrů na výrobu jednoho závitu. Každým dalším přísuvem nástroje k obrobku se VBD dostává více do záběru, a proto se hloubka následujících řezů snižuje. Tím se docílí konstantního průřezu třísky a menšího namáhání nástroje. Při soustružení závitů se mohou použít různé metody posuvu nástroje vůči obrobku. Většinou se volí jedna z těchto metod posuvu do záběru: modifikovaný boční, radiální nebo přírůstkový (obráz. 20) [19, 51].



Obr. 21 Typy posuvů do záběrů zleva: modifikovaný boční, radiální, přírůstkový [51].

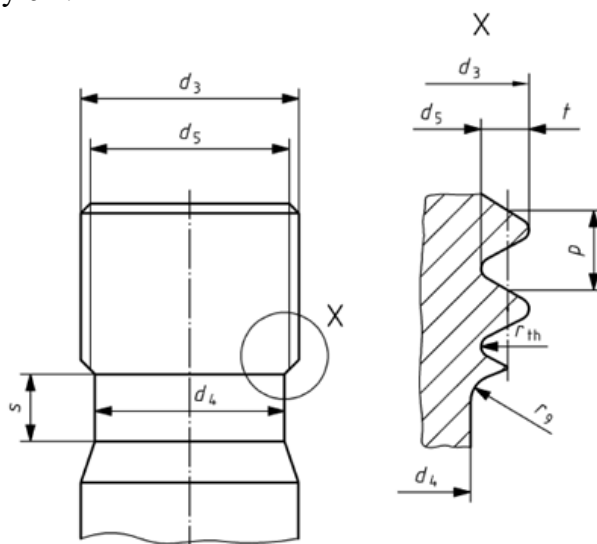
Modifikovaný boční posuv oproti radiálnímu posuvu nabízí několik výhod. Mezi ně například patří to, že kontrola a utváření třísky je jednodušší. Je realizovatelný pro všechny typy VBD a jejich různé operace. Tříska vzniká pouze na jedné straně destičky a tím je snazší průběh řezu. Radiální posuv využívají mechanicky ovládané soustruhy, kde není možné uplatnit jinou metodu. Tvoří se těžko dělitelná tříska, která má tvar V. Využívá se pro závit s jemným stoupáním. Přírůstkový posuv je vhodné použít pro závit s velkým stoupáním (větší než 5 mm). Opatření destičky je rovnoměrně rozmístěno, čímž se prodlužuje životnost nástroje [51].

Pro správný postup výroby závitu soustružením je podstatná volba nástrojového držáku, při které musí být zohledněny tvar součásti, typ obráběcího stroje, směr otáčení závitu, dostupnost nástroje a nároky na formování třísky. Na výrobu závitu háku je pro

efektivnější odvádění třísky dobré uplatnit nástrojový držák v obrácené poloze, který může být se sníženou hlavou. Takový držák poskytuje dosažení potřebného nastavení výšky hrotu, kdy není nutné opravovat upnutí v revolverové hlavě. Výroba vnitřního závitu matice je v porovnání s vnějším závitem háku složitější na optimální odvádění třísek. To je lepší za použití levořezných nástrojů pro pravotočivé závity, případně pravořezných nástrojů pro levotočivé závity. Při soustružení vnitřních závitů se pokaždé uplatňuje modifikovaného bočního posuvu, čímž vznikají spirálové třísky, které se snadněji odvádějí ven z řezného prostoru [51].

Pro výrobu závitu na dříku háku a v matici musí být splněny následující podmínky [41]:

- délka závitové části dříku musí být větší než $0,8 d_3$ (d_3 – jmenovitý průměr závitu),
- rozteč závitu (p) musí být v porovnání s jmenovitým průměrem závitu v rozsahu: $0,055 d_3 \leq p \leq 0,15 d_3$,
- pro výšku závitu (t) musí při srovnání s roztečí závitu (p) platit vztah: $0,45 p \leq t \leq 0,61 p$,
- zaoblení dna profilu závitu (r_{th}) musí být většího poloměru než $0,14 p$,
- dřík musí být pod posledním závitem podsoustružen (na průměr d_4) na délce (s), která musí vyhovovat podmínce: $s \geq 2 (d_3 - d_4)$, pro průměr podsoustružení musí platit: $d_4 \leq d_5 - 0,3 \text{ mm}$ (d_5 – průměr jádra závitu),
- mezi závitovou částí a plochou podsoustružení musí být odlehčovací rádius (r_9), pro který platí vztah: $r_9 \geq 0,06 d_4$,
- podsoustružený průměr musí být v poměru k průměru výkovku dříku (d_1) podle vztahu: $d_4 \geq 0,65 d_1$,
- závit háku musí splňovat požadavky normy ISO 965-1 a být střední toleranční třídy 6g,
- závit matice musí vyhovovat nárokům tolerance v normě ISO 965-1, střední toleranční třídy 6H.



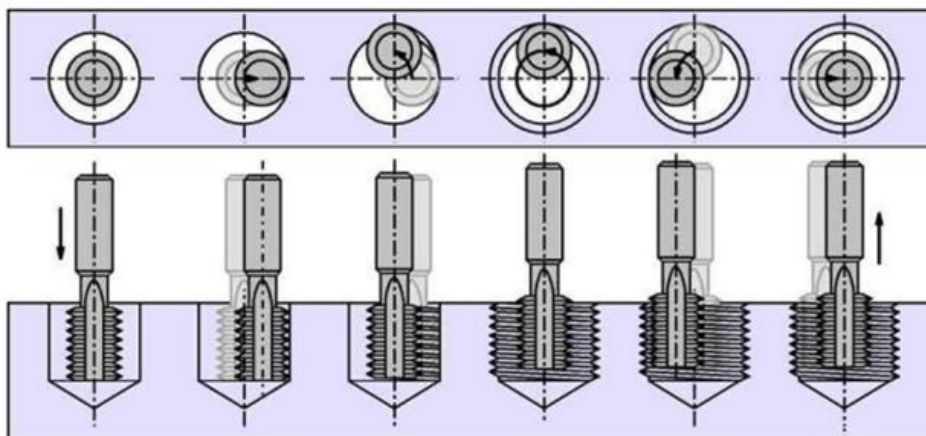
Obr. 22 Rozměry opracovaného dříku [41].

Dalšími metodami výroby závitů, mimo zmíněné soustružení, jsou:

- Ruční řezání závitů je způsob výroby vnějších a vnitřních závitů menších rozměrů, pro výrobu závitů tohoto háku a matice je nevhodný. Je to časově náročnější

metoda v porovnání s automatizovaným postupem, a proto se používá ke kusové, malosériové výrobě, nebo k opravě poničených závitů. K ručnímu řezání vnitřních závitů se používají závitníky, pro vnější závit se používají závitové čelisti. [19, 25, 49].

- Řezání závitů závitořeznými hlavami je vhodné pro tvorbu vnějších závitů v sériových výrobách. Závitořezné hlavy jsou vybaveny pohyblivými čelistmi, jejichž pomocí se na materiálu vyřezává závit. Po dokončení operace se čelisti samy vysunou ze záběru. Tím se zamezí poškození závitu a naopak se zlepší jeho kvalita a přesnost. Závitořezné hlavy podle tvaru nožů mohou být s prizmatickými radiálními noži, prizmatickými tangenciálními noži nebo kotoučovými noži [19, 25].
- Frézování závitů je metoda výroby závitů, kdy nástroj koná hlavní rotační pohyb. Jeho zásluhou je možné obrobit nesymetrické součásti. Frézují se závit, které mají velký profil nebo velké stoupání. Pro takové typy závitů je frézování pokládáno za nejrychlejší a nejvhodnější. Nástroj obráběcího stroje musí být schopen současně pohybu v osách x, y a z (obr. 20), protože materiál je obráběn po stoupající kruhové dráze. Frézováním je možné vyrobit závit různých průměrů, často se uplatňuje pro větší průměry. Při obrábění se doporučuje omezit na minimum použití řezné kapaliny, aby se předešlo vzniku tepelných trhlin. Výhodné je užití řezné kapaliny pro dokončování korozivzdorných a žáruvzdorných materiálů. Závit lze frézovat kotoučovou, hřebenovou, okružovací nebo vrtací závitořeznou frézou [19, 25, 49].



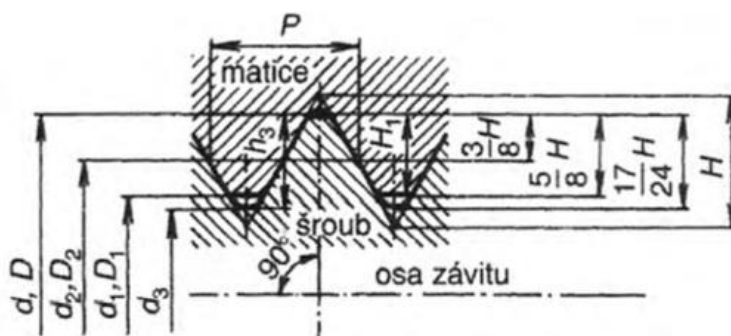
Obr. 23 Kinematika procesu frézování vnitřního závitu [48].

- Broušení závitů se používá k vytvoření závitů do neobyčejně tvrdých materiálů nebo takových závitů, u kterých se vyžaduje vysoká přesnost a kvalita povrchu. Povrch závitu je potom velmi odolný proti poškození a opotřebení. Při výrobě se obráběná součást otáčí, zároveň obrobek a brousicí kotouč vůči sobě vykonávají posuvný pohyb. Nejčastěji se broušením vyrábí závit pohybových šroubů, měřicích zařízení, nástroje na výrobu závitů a spousta dalších. Podle tvaru kotouče se rozlišují podélné a zapichovací broušení [19, 25, 49].
- Tváření závitů je beztriskový způsob výroby závitů, který je alternativou k jejich tvorbě řezáním. Vnější závit jsou tvářeny válcováním. Válcováním za tepla je možné vyrobit závit na díku většího rozměru, zahřátí na teplotu kování dovoluje válcovat i tvrdší materiály. Závit mohou být tvářeny pomocí plochých válcovacích čelistí nebo válcovacích kotoučů [19, 25].

3.3 Návrh závitu háku a matice

Rozměry metrického závitu M 48x2 podle strojnických tabulek (obr. 16) [39]:

- velký průměr závitu $D = 48 \text{ mm}$
- malý průměr závitu matice $D_1 = 45,835 \text{ mm}$
- střední průměr závitu $D_2 = 46,701 \text{ mm}$
- malý průměr závitu na háku $d_3 = 45,546 \text{ mm}$
- stoupání závitu $s = 2 \text{ mm}$



Obr. 24 Profil metrického závitu [39].

3.3.1 Nosná hloubka závitu

Nosná hloubka závitu se vypočítá dle vzorce (3.14) [39]:

$$H_1 = \frac{D - D_1}{2} = \frac{48 - 45,835}{2} \quad (3.1)$$
$$H_1 = 1,0825 \text{ mm}$$

3.3.2 Maximální tíha břemene

Silové účinky působící na kladnici při maximálním dovolené nosnosti jsou dány vztahem (3.15) [39]:

$$F_M = (m_q + m_k) \cdot g = (10000 + 150) \cdot 9,81 \quad (3.2)$$
$$F_M = 99\,571,5 \text{ N}$$

Kde:

m_q – hmotnost břemene [kg],

m_k – předpokládaná hmotnost kladnice [kg], zvoleno dle [38],

g – tíhové zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$].

3.3.3 Dovolенý tlak v závitu

$$p_{Dz} = 0,25 \cdot R_e = 0,25 \cdot 335 \quad (3.3)$$
$$p_{Dz} = 83,75 \text{ MPa}$$

Kde R_e – mez kluzu materiálu matice [MPa].

3.3.4 Výpočet výšky matice z otláčení

Výpočet tlaku působícího na závit matice je dán vztahem (3.17) [39]:

$$p_z = \frac{F_M \cdot s}{\pi \cdot H_1 \cdot D_2 \cdot l_m} \leq p_{Dz} \quad (3.4)$$

Z rovnice (3.16) je vyjádřena minimální výška závitu matice l_m (3.19):

$$l_m \geq \frac{F_M \cdot s}{\pi \cdot H_1 \cdot D_2 \cdot p_{Dz}} \geq \frac{99571,5 \cdot 2}{\pi \cdot 1,0825 \cdot 46,701 \cdot 83,75} \quad (3.5)$$
$$l_m \geq 15 \text{ mm}$$

Kde:

F_M – maximální tíha břemene [N],

s – stoupání závitu [mm],

H_1 – nosná hloubka závitu [mm],

D_2 – střední průměr závitu [mm],

p_{Dz} – dovolený tlak v závitu matice [MPa].

Použitá výška závitové části u zkoumané matice $l_m = 46 \text{ mm}$.

3.3.5 Pevnostní kontrola na tah

Bezpečnost spoje v tahu se kontroluje pomocí vztahu (3.20) [39]:

$$\sigma_t = \frac{F_M}{S} = \frac{F_M}{\frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{d_2 + d_3}{2}\right)^2} \leq \frac{R_e}{k} \quad (3.6)$$
$$\sigma_t = \frac{99571,5}{\frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{46,701 + 45,546}{2}\right)^2} \leq \frac{335}{2,5}$$

$$59,6 \text{ MPa} \leq 134 \text{ MPa} \rightarrow \text{platí bezpečnost v tahu}$$

Kde:

F_M – maximální tíha břemene [N],

d_2 – střední průměr závitu šroubu [mm],

d_3 – malý průměr závitu šroubu [mm],

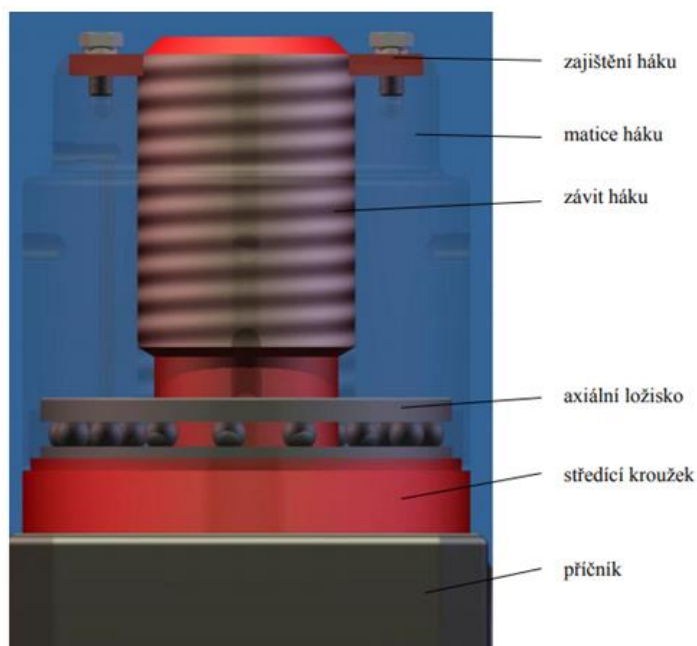
R_e – mez kluzu materiálu šroubu [MPa],

k – součinitel bezpečnosti dříku háku [-], podle [39] musí být k z intervalu od 1,5 do 3.

3.4 Zhodnocení z hlediska montáže a životnosti

Závitová část dříku háku je zašroubovaná v matici. V matici háku je uložena horní část axiálního kuličkového ložiska, aby byl hák snadno otočný i při zatížení. Ložisko je namáháno staticky za nízkých otáček nebo vykonává jen kývavý pohyb, proto musí být kontrolováno na statickou únosnost. Statická únosnost kuličkového ložiska by měla být 1,5 až 2násobek únosnosti háku. Jelikož životnost ložiska je omezená, je potřeba zajistit možnost výměny ložiska. Pro snadnější výměnu nemůže být zasazeno s velmi těsnou tolerancí. Životnost kuličkového ložiska je určena podle druhu provozu, ve kterém se mechanismus používá. Druhy ložisek jsou rozděleny dle zatížení, to se ale v průběhu času mnohdy mění. Pro lehký provoz zařízení se uvažuje životnost valivých ložisek 16 000 hodin, pro těžký provoz 4 000 hodin a pro velmi těžký provoz 1 000 hodin. Aby kuličkové ložisko co nejlépe plnilo svoji funkci, maže se vždy olejem s vysokou viskozitou, který je určený pro vysoké zatížení ložiska. Proti znečištění a povětrnostním vlivům chrání ložisko prodloužený okraj matice a tento prostor je při montáži vyplněn tukem. Spodní část ložiska je uložena ve středícím kroužku, který je usazen na příčnku. Příčník umožňuje uložení háku, dřík jeřábového háku prochází skrz příčník až do matice. [38, 52].

Aby nedošlo k povolení závitu háku v matici, je spoj pojištěn příložkou, která je vložena do drážky vyfrézované v matici a v háku, a dvěma závrtnými šrouby, pro které jsou do matice vyvrtány dvě díry. Příložka je konstrukčně řešená tak, aby vložení do drážek háku a matice bylo snadné a vyvrtané díry byly vhodné pro jistící závrtné šrouby. Matici je možné utáhnout pomocí speciálního klíče a vyvrtaných otvorů po vnějším obvodu matice. Pro případ porušení kritického místa dříku je hák pojištěn dvěma půlkruhovými jistícími deskami, které po přiložení k sobě tvoří jednu součást. Jistící desky jsou vloženy na rovinnou plochu příčnku, se kterým jsou spojeny dvěma šroubovými spoji pro přesná zajištění vzájemné polohy [52, 53].



Obr. 25 Uložení háku [52].

Jeřábový hák musí být schopen odolávat extrémním podmínkám, proto je jeho povrch natřen syntetickou barvou. Po vyschnutí dosahuje vyšší pevnosti a nedochází ke

ztrátě pružnosti. Barevný povlak zlepšuje odolnost za extrémních teplot, odolnost proti korozi v přímém kontaktu se solí apod. Natřený hák musí být podroben náročným zkouškám, aby byl schopen odolat vystavení silnému slunečnímu záření nebo ponoření ve slané či sladké vodě a přitom nebyla zkracována jeho životnost [32].

Návrhová životnost háku musí být minimálně stejná jako životnost příslušného jeřábu. Únavová pevnost je kontrolována pro kritická místa háku a posuzují se z pohledu nejvíce nepříznivého zatížení. Počet cyklů napětí se usuzuje z celkového počtu zdvihání, což se shoduje s celkovým počtem pracovních cyklů během návrhové životnosti jeřábu. [44]. Hák by se měl jednou až třikrát ročně kontrolovat, jestli nedochází k jeho opotřebení a zda se na povrchu háku nebo u závitové úseku neobjevují únavové praskliny, které nejenže zásadně negativně ovlivní životnost háku, ale mohou lehce způsobit zlomení háku [32].

ZÁVĚR

Tato bakalářská práce je rešerše ke šroubovým spojům pro extrémní zatížení. Podává přehled o možných typech šroubových spojů, zejména pak o často používaných šroubech, maticích, podložkách a pojišťovacích prvcích. Hodnotí vhodnost volby spojovacích prvků pro konkrétní případ. Předkládá volbu co nejefektivnějšího způsobu výroby závitu pro součást, u které se očekává její extrémní zatížení.

Cílem bakalářské práce je návrh technologie pro šroubový spoj pro extrémní zatížení. Bylo navrženo spojení háku mostového jeřábu s nosností do 10 tun. Materiálem háku a matice byla zvolena nelegovaná ocel ČSN 11523. Pro součásti byla navržena výroba zápustkovým kování a pro vnější metrický závit háku i pro vnitřní metrický závit matice bylo zvoleno vytvoření závitu soustružením o rozměru M 48x2. Kvůli lepším mechanickým vlastnostem je doporučeno součásti tepelně upravit normalizačním žíháním, které zlepšuje pevnost a obrobiteľnosť.

Z výpočtů bylo zjištěno, že:

- spoj zatížený maximálním dovoleným zatížením je namáhán silou $F_M = 99571,5 \text{ N}$,
- dovolený tlak v závitu je $p_{Dz} = 83,75 \text{ MPa}$,
- minimální výška závitové části matice musí být $l_m \geq 15 \text{ mm}$,
- největší tahové napětí v závitové části spoje je $\sigma_t = 59,6 \text{ MPa}$.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. VOLEK, František. Základy konstruování a části strojů I. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2009. ISBN 978-80-7318-654-8.
2. ŠLUPINA, Miloš. Spoje ve strojírenství [online]. VOŠ, SOŠ A SOU KOPŘIVNICE [cit. 2021-3-1]. Dostupné z: http://moodle2.voskop.eu/download/teu/U36_Spoje_ve_strojirenstvi.pdf
3. ŽABA, Tomáš. Realizace edukační úlohy na experimentální stanici pro modelování předepjatých šroubových spojů. Brno, 2011. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Michal Vaverka, Ph.D.
4. Druhy šroubových spojů. Mujsolidworks.cz [online]. [cit. 2021-3-6]. Dostupné z: <https://www.mujsolidworks.cz/zakladni-druhy-sroubovych-spoju-a-jejich-zobrazeni-na-vykrese-2/>
5. KŘÍŽ, Rudolf. Stavba a provoz strojů I: části strojů: pro 2. roč. SPŠ. V Scientii 1. vyd. Praha: Scientia, c1997. ISBN 80-718-3108-5.
6. KROUPOVÁ, Marcela. Problematika vnitřního pnutí v průmyslových výliscích z plastů. Most, 2008. Bakalářská práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava.
7. ANSELM, Jiří. Návrh vzorkovnice spojovacího materiálu se zaměřením na vytváření technických kompetencí v předmětu Praktické činnosti na 2. Stupni ZŠ. Olomouc, 2012. Bakalářská práce. Univerzita Palackého v Olomouci.
8. VANÍČEK, Jiří. Návrh automatické šroubovací stanice pro výrobu zámkových systémů automobilů. Pardubice, 2013. Diplomová práce. Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera.
9. POSPÍŠIL, František. Závitová a šroubová spojení: určeno [též] studentům. Praha: SNTL, 1968. Řada strojírenské literatury.
10. Spoje šroubové [online]. [cit. 2021-3-22]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/15993178-Spoje-sroubove-mezí-nejduletitejsi-geometricke-charakteristiky-zavitu-patri-tyto-veliciny.html>
11. Šroub lícovaný s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem ISO 7379 12.9 [online]. [cit. 2021-3-23]. Dostupné z: <https://www.briol.cz/sroub-licovany-s-valcovou-hlavou-a-vnitrim-sestihranem-iso-7379-129>
12. Šrouby stavěcí - „šroub červík“ [online]. [cit. 2021-3-23]. Dostupné z: <https://www.li-ca.cz/produkty/spojovaci-material/srouby-metricke/srouby-staveci-cerviky>
13. KREIBICH, Viktor. Důsledky nevhodných povrchových úprav šroubů [online]. [cit. 2021-3-24]. Dostupné z: https://www.kreibichpovrchy.cz/?page_id=88
14. Chemické složení ocelových šroubů a matic [online]. [cit. 2021-3-27]. Dostupné z: <https://www.k2l.cz/chemicke-slozeni-ocelovych-sroubu-a-matic/>
15. ČECH, Ondřej. Závitové operace ve stavebnictví. Brno, 2018. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Milan Kalivoda.
16. Pevnost a tvrdost šroubů. Faspoj.cz [online]. [cit. 2021-3-28]. Dostupné z: <http://www.faspoj.cz/pevnost%20sroubu.html>

17. SVOBODA, Pavel a Jan BRANDEJS. Základy konstruování. Vydání šesté. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2015. ISBN 978-80-7204-921-9.
18. Matice jako jeden z druhů spojovacího materiálu. Fasteners-cz.cz [online]. [cit. 2021-3-29]. Dostupné z: <https://www.fasteners-cz.cz/matice-jako-jeden-z-druhu-spojovaciho-materialu>
19. KUKLIŠ, Richard. Výroba šroubového/závitového spojení pro extrémní podmínky. Brno, 2020. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Milan Kalivoda.
20. REJZEK, Lukáš. Šroubové spoje [online]. [cit. 2021-02-24]. Dostupné z: <https://katedry.osu.cz/kpv/spoje/index.htm>. Multimediální učební pomůcka. SPŠS.
21. Technické parametry. Ingomat.cz [online]. [cit. 2021-3-31]. Dostupné z: <http://www.ingomat.cz/index.php/info/technicke-parametry>
22. Značení pevnosti a povrchové úpravy. Briol.cz [online]. [cit. 2021-3-31]. Dostupné z: <https://www.briol.cz/technicke-informace/znaceni-pevnosti-a-povrchovych-uprav>
23. LHOTÁK, David. Technické zajištění stability procesu montážních šroubových spojů. Liberec, 2005. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci.
24. PTÁČEK, Luděk. Nauka o materiálu I. 2., opr. a rozš. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, c2003. ISBN 80-720-4283-1.
25. Výroba závitů [online]. Ostrava: Střední průmyslová škola, Ostrava – Vítkovice [cit. 2020-04-03]. Dostupné z: https://www.spszengrova.cz/texty/texty/STT/STTVyroba_zavitu_RAJ.pdf
26. HORÁČEK, Martin. Prvky kovových konstrukcí: Podklady do cvičení [online]. 2019, s. 32 [cit. 2021-4-3]. Dostupné z: https://www.fce.vutbr.cz/KDK/horacek.m1/BO002/BO002_Podklady_do_cviceni.pdf
27. VOJTEK, Jiří. Statická analýza ocelových spojů. Brno, 2016. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Roman Gratza, Ph.D.
28. KARMAZÍNOVÁ, Marcela. Prvky kovových konstrukcí: Modul BO02-M02 Spoje kovových konstrukcí [online]. Vysoké učení technické v Brně, 2005 [cit. 2021-4-3].
29. PEŠEK, Ondřej. BO02 – Prvky kovových konstrukcí: Podklady do cvičení [online]. [cit. 2021-4-4]. Dostupné z: https://www.fce.vutbr.cz/KDK/pesek.o/BO02/_PODKLADY_1.0.pdf
30. RÖDER, Václav. Šroubové spoje. Ocel.wz.cz [online]. [cit. 2021-4-4]. Dostupné z: <http://ocel.wz.cz/sroubove-spoje/>
31. MACHÁČEK, Josef. Šroubované spoje [online]. [cit. 2021-4-5]. Dostupné z: <http://people.fsv.cvut.cz/~machacek/prednaskyNNK/NNK-7.pdf>
32. Three-step process. Irizarforge.com [online]. [cit. 2021-5-2]. Dostupné z: <https://www.irizarforge.com/three-step-process/>

33. ČSN EN ISO 898-1, Mechanické vlastnosti spojovacích součástí z uhlíkové a legované oceli – Část 1: Šrouby se specifikovanými třídami pevnosti – Hrubá a jemná rozteč [online]. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014 [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: <http://csnonline.agentura-cas.cz/>
34. Spojovací materiál pro průmyslovou výrobu – velkoobchod: Sortiment [online]. 2020 [cit. 2021-04-06]. Dostupné z: <https://www.metalcom.cz/cz>
35. SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard Gordon BUDYNAS. Konstruování strojních součástí. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.
36. HARTL, Martin. Předepjaté šroubové spoje [online]. [cit. 2021-04-06]. Dostupné z: https://moodle.vutbr.cz/pluginfile.php/249313/mod_resource/content/2/5KS_Prednaska6_nahled.pdf
37. HLAVÁČ, Martin. Srovnání MKP modelů spojů. Brno, 2011. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Přemysl Pokorný, Ph.D.
38. DRAŽAN, F., KUPKA, L. a kol. Jeřáby. 1. vyd. Praha: SNTL, 1968, 661 s.
39. LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky: učebnice pro školy technického zaměření. Šesté vydání. Úvaly: Albra, 2017. ISBN 978-80-7361-111-8.
40. MELCHER, Jindřich a Miroslav BAJER. Prvky kovových konstrukcí: Materiál a konstrukční prvky ocelových konstrukcí. Vysoké učení technické v Brně Fakulta stavební.
41. ČSN EN 13001-3-5 (270105) A Jeřáby – Návrh obecně. Část 3-5, Mezní stavy a prokázání způsobilosti kovaných háků = Cranes – General design. Part 3-5, Limit states and proof of competence of forged hooks. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018. Dostupné také z: <http://csnonline.agentura-cas.cz/>
42. LENFELD, Petr. Tváření kovů [online]. [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/03.htm#034
43. Forged hook [online]. [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <http://www.scielo.br/img/revistas/mr/v18n1//1516-1439-mr-18-01-00092-gf02.jpg>
44. VÍTŮ, Šimon. Jeřábové háky, konstrukce a výpočet. Brno, 2019. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce doc. Ing. Jiří Malášek, Ph.D.
45. Tepelné zpracování. Bodycote.com [online]. 2019 [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: <https://www.bodycote.com/cs/sluzby/tepelne-zpracovani/>
46. VĚCHET, Stanislav a Karel NĚMEC. Tepelné zpracování ocelí [online]. 2014 [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: <https://www.slideserve.com/laksha/tepeln-zpracov-n-ocel-druhy-a-zp-soby>
47. Nástroje na závity [online]. [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: https://www.landsmann.cz/nastroje-nastroje-na-zavity_c389.html

48. Frézování závitů [online]. [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: <https://zavitovani.cz/vyroba-vnitrnich-zavitu/frezovani-zavitu/>
49. Výroba závitů [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1432>
50. How to choose thread turning insert and shim [online]. [cit. 2021-4-29]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/knowledge/threading/thread-turning/pages/how-to-choose-thread-turning-insert-and-shim.aspx>
51. Výroba závitů: Soustružení a frézování závitů [online]. SANDVIK CZ, 2014 [cit. 2020-04-29]. Dostupné z: <https://tbp.blob.core.windows.net/coromant/388dc132-aa6a-43e9-8b54-07ce9f1b885e.pdf>
52. ŠTEFANEC, Tomáš. Jeřábová kladnice nosnost 20 t. Brno, 2012. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.
53. BERNARD, Vladislav. Jeřábová kočka. Brno, 2008. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Jiří Malášek, Ph.D.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol/Zkratka	Jednotka	Popis
d	[mm]	průměr závitu šroubu
D	[mm]	průměr závitu matice
R _m	[MPa]	mez pevnosti
R _e	[MPa]	mez kluzu
Zn	-	zinek
Cd	-	kadmium
Cu	-	měď
Ni	-	nikl
Cr	-	chrom
Sn	-	cín
Ag	-	stříbro
F _t	[N]	tahová síla
F _{sv}	[N]	svěrná síla
F _{t,Rd}	[N]	únosnost šroubu v tahu
A _s	[mm ²]	plocha šroubu
γ _{M2}	-	součinitel materiálu
B _{p,Rd}	[N]	únosnost v protlačení
d _m	[mm]	střední průměr kružnice vepsané do šestihranu hlavy šroubu nebo matice
t _p	[mm]	menší z tloušťek desky pod hlavou šroubu nebo matice
σ	[MPa]	normálové tahové napětí
F	[N]	vnější síla
S	[mm ²]	plocha průřezu šroubu
F _{v,Rd}	[N]	únosnost šroubu ve střihu

τ	[MPa]	střihové napětí
$F_{b,Rd}$	[N]	únosnost šroubu v otlacení
t	[mm]	nejmenší tloušťka spojovaných součástí
e	[mm]	vzdálenost šroubů ve spojovaných součástech od okraje
p	[mm]	rozteče mezi jednotlivými šrouby
d_0	[mm]	průměr díry pro šroub
$F_{s,Rd}$	[N]	návrhová únosnost třecího spoje
k_s	-	součinitel zohledňující tvar a velikost díry pro šroub
μ	-	součinitel tření
$F_{p,C}$	[N]	předpínací síla
C	-	tuhostní konstanta spoje
F_p	[N]	síla v provozním stavu
σ_a	[MPa]	amplituda nominálního napětí
σ_m	[MPa]	střední nominální napětí ve šroubu
σ_C^x	[MPa]	korigovaná mez únavy šroubu
S	-	ocel pro ocelové konstrukce pro všeobecné použití
L_0	[mm]	počáteční délka
S_0	[mm ²]	počáteční plocha průřezu
a_1	[mm]	průměr kružnice vepsané v sedle háku
d_1	[mm]	průměr dříku háku na nezávitové části
d_3	[mm]	jmenovitý průměr závitu
p	[mm]	rozteč závitu
t	[mm]	výška závitu
r_9	[mm]	odlehčovací rádius
d_4	[mm]	průměr podsoustružení

r_{th}	[mm]	zaoblení dna profilu závitu
d_5	[mm]	průměr jádra závitu
D	[mm]	velký průměr závitu
D_1	[mm]	malý průměr závitu matice
D_2	[mm]	střední průměr závitu
d_3	[mm]	malý průměr závitu na háku
H_1	[mm]	nosná hloubka závitu
F_M	[N]	maximální tíha břemene
m_q	[kg]	hmotnost břemene
m_k	[kg]	hmotnost kladnice
g	[m·s ⁻²]	tíhové zrychlení
p_{Dz}	[MPa]	dovolený tlak v závitu matice
l_m	[mm]	minimální výška závitu matice
VBD	-	vyměnitelná břitová destička

SEZNAM PŘÍLOH

- | | |
|-----------|---|
| Příloha 1 | Katalog spojovacího materiálu – přehled používaných vysokopevnostních šroubů |
| Příloha 2 | Katalog spojovacího materiálu – přehled používaných matic pro vysokopevnostní spoje |
| Příloha 3 | Katalog spojovacího materiálu – přehled používaných podložek a závlaček |
| Příloha 4 | Geometrie břitových destiček |

PŘÍLOHA 1 (1 ZE 2)

Katalog spojovacího materiálu – přehled používaných vysokopevnostních šroubů [34].

ŠROUBY SE ŠESTIHRANNOU HLAVOU

POPIS	TVAR	ČSN	ISO	DIN	PN/M	JINÉ
<u>A ČÁSTEČNÝM ZÁVITEM</u>		02 1101	4014	931	82101	
<u>A ČÁSTEČNÝM JEMNÝM METRICKÝM ZÁVITEM</u>		02 1101	8765	960	82101	
<u>A ZÁVITEM K HLAVĚ</u>		02 1103	4017	933	82105	
<u>A JEMNÝM METRICKÝM ZÁVITEM K HLAVĚ</u>		02 1103	8676	961	82105	
<u>PRO OCELOVÉ KONSTRUKCE</u>				7990		
<u>LÍCOVANÉ PRO OCELOVÉ KONSTRUKCE</u>				7968		
<u>PRO OCELOVÉ KONSTRUKCE HV</u>				6914	82343	EN 14399-4
<u>LÍCOVANÉ PRO OCELOVÉ KONSTRUKCE HV</u>				7999		
<u>LÍCOVANÉ S DLOUHÝM ZÁVITEM</u>		02 1111		609	82342	
<u>LÍCOVANÉ S KRÁTKÝM ZÁVITEM</u>		02 1112		610	82341	
<u>A PŘÍRUBOU</u>			EN 1665	6921	82247	

ŠROUBY S PRŮBĚŽNOU DRÁŽKOU

POPIS	TVAR	ČSN	ISO	DIN	PN/M	JINÉ
<u>A VÁLCOVOU HLAVOU</u>		02 1131	1207	84	82215	
<u>A ZÁPUSTNOU HLAVOU</u>		02 1151	2009	963	82207	
<u>S PLOCHOU ZAOBLENOU HLAVOU</u>						FLACHRUSCHR

ŠROUBY S VNITŘNÍM ŠESTIHRANEM

POPIS	TVAR	ČSN	ISO	DIN	PN/M	JINÉ
<u>A VÁLCOVOU HLAVOU</u>		02 1143	4762	912	82302	
<u>LÍCOVANÉ S VÁLCOVOU HLAVOU (DŘÍK F9)</u>	F9		7379			
<u>LÍCOVANÉ S VÁLCOVOU HLAVOU (DŘÍK H8)</u>	H8		7379			
<u>S VÁLCOVOU HLAVOU NÍZKOU A STŘEDÍCÍ DÍROU</u>				6912		
<u>A VÁLCOVOU HLAVOU NÍZKOU</u>				7984		
<u>A ZÁPUSTNOU HLAVOU</u>			10642	7991		
<u>A PŮLKULATOU HLAVOU</u>			7380			
<u>S PLOCHOU HLAVOU A LÍMCEM</u>	FLANSCH		7380			

ŠROUBY S DRÁŽKOU TORX

POPIS	TVAR	ČSN	ISO	DIN	PN/M	JINÉ
<u>A ZÁPUSTNOU HLAVOU</u>	TX		10642	7991		
<u>A VÁLCOVOU HLAVOU</u>	TX	02 1143	14579	912	82302	
<u>A VÁLCOVOU HLAVOU ZAOBLENOU</u>	TX		7380			
<u>A VÁLCOVOU HLAVOU NÍZKOU</u>	TX			7984		

ŠROUBY ZÁVRTNÉ

POPIS	TVAR	ČSN	ISO	DIN	PN/M	JINÉ
<u>SE ZÁVRTNÝM KONCEM 1D (DO OCELI)</u>		02 1174		938	82125	
<u>SE ZÁVRTNÝM KONCEM 1,25D (DO LITINY)</u>		02 1176		939	82131	
<u>SE ZÁVRTNÝM KONCEM 2D (DO SLITIN HLINÍKU)</u>		02 1178		835	82137	

PŘÍLOHA 1 (2 ZE 2)

Katalog spojovacího materiálu – přehled používaných vysokopevnostních šroubů [34].

ŠROUBY S NOSEM NEBO ČTYŘHRANEM

POPIS	TVAR	ČSN	ISO	DIN	PN/M	JINÉ
SE ČTYŘHRANEM A NÍZKOU ZAOKLENOU HLAVOU (VRATOVÉ)		02 1319	8677	603	82406	
SE ČTYŘHRANEM A ZÁPUSTNOU HLAVOU DO KOVU		02 1326		608	82402	
S NOSEM A ZÁPUSTNOU HLAVOU		02 1324		604	82408	

ŠROUBY S T HLAVOU

POPIS	TVAR	ČSN	ISO	DIN	PN/M	JINÉ
PRO T-DRÁŽKY		299	787			

ŠROUBY SE ČTYŘHRANNOU HLAVOU

POPIS	TVAR	ČSN	ISO	DIN	PN/M	JINÉ
S OSAZENÝM KONCEM		02 1121		479		
S LÍMCEM				478		
S NÁKRUŽKEM A ČÍPKEM		02 1122		480		

ŠROUBY S OKEM

POPIS	TVAR	ČSN	ISO	DIN	PN/M	JINÉ
ZÁVĚSNÉ		02 1369	3266	580	82472	

PŘÍLOHA 2

Katalog spojovacího materiálu – přehled používaných matic pro vysokopevnostní spoje [34].

MATICE ŠESTIHRANNÉ

POPIS	TVAR	ČSN	ISO	DIN	PN/M	JINÉ
<u>TYP 1</u>		02 1401	4032	934	82144	
<u>NÍZKÉ</u>		02 1403		936		
<u>S JEMNÝM METRICKÝM ZÁVITEM</u>		02 1401	8673	934	82144	
<u>S PŘÍRUBOU</u>				6923	82168	EN 1661
<u>S PŘÍRUBOU A ŽEBROVÁNÍM RIPP</u>						RIPPMU
<u>S PŘÍRUBOU A OZUBENÍM SPERRZAHN</u>						SPERRZAHNMU
<u>S PŘÍRUBOU A OZUBENÍM TENSILOCK</u>						TENSILOCKMU
<u>PRO OCELOVÉ KONSTRUKCE HV</u>				6915	82171	EN14399-4
<u>VYSOKÉ 1D</u>			4033			
<u>VYSOKÉ 1.5D</u>	B			6330	82155	
<u>VYSOKÉ 1.5D S NÁKRUŽKEM</u>				6331	61272	
<u>PRODLUŽOVACÍ 3D</u>				6334	82157	
<u>SAMOJISTNÉ CELOKOVÉ</u>	V		7042	980	82176	BN205107-1
<u>SAMOJISTNÉ S NEKOVOVOU VLOŽKOU</u>			7040	982	82175	BN205107-3
<u>SAMOJISTNÉ S NEKOVOVOU VLOŽKOU (NÍZKÉ)</u>		02 1492	10511	985	82175	
<u>SAMOJISTNÉ S NEKOVOVOU VLOŽKOU A PŘÍRUBOU</u>				6926		EN 1663
<u>SAMOJISTNÉ CELOKOVÉ S PŘÍRUBOU</u>				6927		
<u>S KULOVÝM NÁKRUŽKEM</u>	A			74361		
<u>S PLOCHÝM NÁKRUŽKEM</u>	B			74361		
<u>KOLOVÉ S POHYBLIVOU PODLOŽKOU</u>	H			74361		

MATICE ZÁVĚSNÉ

POPIS	TVAR	ČSN	ISO	DIN	PN/M	JINÉ
<u>S OKEM</u>				582		
<u>OBLOUKOVÉ</u>				28129		

MATICE OSTATNÍ

POPIS	TVAR	ČSN	ISO	DIN	PN/M	JINÉ
<u>PRO LEŠENÍ</u>						L-5127
<u>T-MATICE S DRÁŽKOU</u>				508		

PŘÍLOHA 3

Katalog spojovacího materiálu – přehled používaných podložek a závlaček [34].

PODLOŽKY PLOCHÉ

POPIS	TVAR	ČSN	ISO	DIN	PN/M	JINÉ
<u>PRO ŠROUBY SE ŠESTIHRANNOU HLAVOU</u>	A	02 1702	7089	125	82005	
<u>PRO ŠROUBY SE ŠESTIHRANNOU HLAVOU SE ZKOSENÍM</u>	B	02 1702	7090	125	82006	
<u>PRO ŠROUBY S VÁLCOVOU A PŮLKULATOU HLAVOU</u>		02 1703	7092	433	82007	
<u>PRO OCELOVÉ KONSTRUKCE HV</u>		02 1706		6916	82039	EN 14399-6
<u>PRO OCELOVÉ KONSTRUKCE</u>	A			7989		
<u>HRUBÉ</u>		02 1721	7091	126	82005	
<u>POJISTNÉ S JAZÝČKEM</u>		02 1751		93	82021	
<u>POJISTNÉ S VNĚJŠÍM NOSEM</u>				432	82011	
<u>POJISTNÉ S VNITŘNÍM NOSEM</u>				462	82016	
<u>POJISTNÉ SE 2 JAZÝČKY</u>				463	82022	
<u>DISTANČNÍ</u>				988		
<u>PŘÍTLAČNÉ</u>	S			6311		
<u>KULOVÉ</u>	C			6319		
<u>KUŽELOVÉ</u>	D			6319		
<u>KUŽELOVÉ</u>	G			6319		

PODLOŽKY PRUŽNÉ

POPIS	TVAR	ČSN	ISO	DIN	PN/M	JINÉ
<u>PROHNUTÉ</u>	A	02 1733		137	82038	
<u>ZVLNĚNÉ</u>	B			137	82037	
<u>SE ČTVERCOVÝM PRŮŘEZEM</u>		02 1740		7980		
<u>S OBDÉLNÍKOVÝM PRŮŘEZEM (VYHNUTÉ KONCE)</u>	A			127	82008	
<u>S OBDÉLNÍKOVÝM PRŮŘEZEM (ROVNÉ KONCE)</u>	B	02 1741		127	82008	
<u>PROHNUTÉ</u>	A			128	82008	BN208012-6
<u>ZVLNĚNÉ</u>	B			128	82008	
<u>TALÍŘOVÉ PRUŽINY (TVAR A)</u>	A			2093		
<u>TALÍŘOVÉ PRUŽINY (TVAR B)</u>	B			2093		
<u>TALÍŘOVÉ PRUŽINY (TVAR C)</u>	C			2093		

PODLOŽKY ČTYŘHRANNÉ

POPIS	TVAR	ČSN	ISO	DIN	PN/M	JINÉ
<u>PRO DŘEVĚNÉ KONSTRUKCE</u>		02 1724		436	82010	
<u>PRO NOSNÍKY U</u>				434	82018	
<u>PRO NOSNÍKY I</u>				435	82009	
<u>PRO I KONSTRUKCE HV</u>				6917		
<u>PRO U KONSTRUKCE HV</u>				6918		

ZÁVLAČKY

POPIS	TVAR	ČSN	ISO	DIN	PN/M	JINÉ
<u>STANDARDNÍ</u>		02 1781	1234	94		
<u>PRUŽNÉ JEDNODUCHÉ</u>	E			11024		
<u>PRUŽNÉ DVOJITÉ</u>	D			11024		

Geometrie břitových destiček [51].

Při řezání závitů, zejména na strojích s omezeným dohledem, je velmi důležitá volba správné geometrie břitové destičky. Z tohoto pohledu nabízí geometrie A konzistentní kvalitu a životnost nástroje a představuje první volbu pro většinu aplikací, zatímco ostřejší geometrie F umožňuje snížení velikosti řezných sil.

Geometrie C pro lepší utváření třísek umožňuje plynulejší výrobu bez nutnosti dohledu a bez náhlých poruch. To se projevuje předvídatelnější životností nástrojů a prodloužením aktivního strojního času.

První volba



Geometrie A

První volba

- První volba pro většinu operací a materiálů
- Zaoblená řezná hrana zaručuje dlouhou a stálou životnost nástroje
- Dobrá spolehlivost břitu



Geometrie F

Ostrý břit

- Ostrá řezná hrana
- Čisté řezy v materiálech snadno ulpívajících na břitu nebo mechanicky zpevňujících materiálech
- Nízké řezné síly a dobrá kvalita obrobeneho povrchu
- Menší sklony k vytváření nárůstku na břitu



Geometrie C

Geometrie pro lepší utváření třísek

- Maximální kontrola utváření třísek, minimální nutnost dohledu
- Vysoká spolehlivost ve všech závitorezných operacích, zejména vnitřních
- Optimalizovaná pro řezání závitů v nízkouhlíkových a nízkolegovaných ocelích
- Pouze pro použití s modifikovaným bočním posuvem pod úhlem 1°